

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky

Studijní obor: Hydrologie a hydrogeologie



Bc. Petra Vítková

**ANALÝZA HYDROLOGICKÉHO SUCHA A TRENDY SRÁŽKOOPTOKOVÝCH DAT
V POVODÍ BOUŘLIVCE A LOUČENSKÉHO POTOKA**

*Analysis of hydrological drought and trends of rainfall-runoff data in the Bouřlivec
and Loučenský stream basins*

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Praha, 2021

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 29. 7. 2021

.....

Bc. Petra Vítková

Na tomto místě bych ráda poděkovala RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za poskytnuté rady, připomínky, trpělivost a ochotu v průběhu zpracování diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Jaroslavu Adámkovi za komentovanou prohlídku zájmových povodí. V neposlední řadě patří velký dík mé rodině a přátelům za veškerou podporu během celého dosavadního studia.

Zadání diplomové práce

Téma práce

Analýza hydrologického sucha a trendy srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka

Cíle práce

Hlavním cílem předkládané diplomové práce je analýza hydrologického sucha a trendů srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka, poskytnutých státním podnikem Povodí Ohře.

Dílčím cílem je stanovení minimálních zůstatkových průtoků s využitím plánované novely vodního zákona.

Rešeršní část

- hydrologická a fyzickogeografická charakteristika povodí Bouřlivce a Loučenského potoka
- hydrologické sucho
- stanovení minimálních zůstatkových průtoků

Praktická část

- analýza srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka
- hodnocení hydrologického sucha metodou prahových hodnot a nedostatkových objemů
- analýza trendů v datových řadách poskytnutých Povodím Ohře
- stanovení minimálních zůstatkových průtoků s využitím plánované novely vodního zákona

Datum zadání: 29. 11. 2019

Jméno studentky: Bc. Petra Vítková

Podpis studentky:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením hydrologického sucha v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka, nacházejících se na severozápadě České republiky v podkrušnohorské oblasti. K charakteristice hydrologického sucha byly využity dostupné hydrologické a klimatologické datové řady ze dvou limnigrafických a čtyř klimatologických stanic. Intenzita výskytu hydrologického sucha byla v zájmových povodích posuzována pomocí metody prahových hodnot a metody nedostatkových objemů. Dle výsledků práce byl za mimořádně málo vodný na obou sledovaných profilech označen hydrologický rok 2020, což poukazuje na akumulující se příčiny sucha z předchozích let. Z hlediska hydrologického sucha byl rovněž významný rok 2018. Diplomová práce si klade také za cíl detekovat trendy v datových řadách srážek, teploty vzduchu a přítoku do vodního díla Všechlapy za použití Mann-Kendallova testu. Výsledky statistického testování trendu poukazují na zvyšující se trend teploty vzduchu a snižující se trend přítoku do vodního díla Všechlapy. Významný trend v datových řadách srážek nebyl potvrzen. Samotnému testování trendu předcházelo posouzení homogenity dostupných datových souborů. V neposlední řadě je kladen důraz na stanovení minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích podle plánové novely nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálních zůstatkových průtoků, která se pro povodí Bouřlivce a Loučenského potoka ukázala jako nevhodná především v suchých letních obdobích.

Klíčová slova: hydrologické sucho, trendy srážkoodtokových dat, minimální zůstatkový průtok

Abstract

The diploma thesis deals with the evaluation of hydrological drought in the Bouřlivec and Loučenský stream basins, located in the northwest of the Czech Republic in the Ore Mountains. Available hydrological and climatological data series from two limnographic and four climatological stations were used to characterize the hydrological drought. The intensity of the occurrence of hydrological drought in the stream basins of interest was assessed using the method of threshold values and the method of insufficient volumes. According to the results of the work, the hydrological year 2020 was marked as extremely low in water on both monitored profiles, which points to the accumulating causes of drought from previous years. In terms of hydrological drought, the year 2018 was also significant. The diploma thesis also aims to detect trends in data series of precipitation, air temperature and inflow into the Všechlapy reservoir using the Mann-Kendall test. The results of statistical testing of the trend point to an increasing trend of air temperature and a decreasing trend of the inflow into the Všechlapy reservoir. A significant trend in the precipitation data series was not confirmed. Trend testing was preceded by an assessment of the homogeneity of the available data sets. Last but not least, emphasis is placed on determining the minimum residual flows in watercourses according to the planned amendment to the Government Decree on the method and criteria for determining the minimum residual flows, which proved to be unsuitable for the Bouřlivec and Loučenský stream basins, especially in dry summer periods.

Key words: hydrological drought, rainfall-runoff data trends, minimum residual flow

1	Úvod	10
2	Cíle a struktura práce.....	11
3	Použité metody a data	12
3.1	Zdroj dat	12
3.2	Vyhodnocení hydrologického sucha	17
3.3	Vyhodnocení trendu srážkoodtokových dat	18
3.3.1	Homogenita v datových řadách	18
3.3.2	Testování trendu v datových řadách	21
4	Fyzickogeografická charakteristika zájmových povodí.....	23
4.1	Geologické poměry	24
4.2	Geomorfologické poměry	26
4.3	Pedologické poměry.....	27
4.4	Klimatické poměry.....	29
4.5	Hydrologické a hydrografické poměry	31
4.5.1	Povodí Loučenského potoka	32
4.5.2	Povodí Bouřlivce.....	36
4.6	Hydrogeologické poměry	38
4.7	Biogeografické poměry	39
5	Sucho	41
5.1	Problematika definice sucha	42
5.2	Typy sucha	43
5.3	Příčiny sucha.....	46
5.3.1	Fyzickogeografické faktory.....	46
5.3.2	Antropogenní faktory	47
5.4	Dopady sucha	49
5.4.1	Environmentální dopady	49
5.4.2	Socioekonomické dopady	51
5.5	Hodnocení hydrologického sucha	52
5.6	Hydrologické sucho na území České republiky v letech 2014-2020	54
6	Stanovení minimálního zůstatkového průtoku ve vodním toku	61
6.1	Zásady stanovení minimálních zůstatkových průtoků	61
6.2	Metodika stanovení minimálních zůstatkových průtoků	62
6.3	Plánovaná novela stanovení minimálních zůstatkových průtoků	63

6.3.1	Ekologický průtok	63
6.3.2	Regionalizace.....	64
6.3.3	Sezonalita	66
6.3.4	Metodika novely pro stanovení minimálního zůstatkového průtoku.....	66
7	Výsledky.....	67
7.1	Charakteristika srážkových a teplotních poměrů.....	67
7.1.1	Srážkové poměry.....	67
7.1.2	Teplotní poměry.....	74
7.2	Charakteristika odtokových poměrů.....	76
7.3	Hydrologické sucho v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce	92
7.3.1	Hodnocení na základě suchých dní	92
7.3.2	Hodnocení nedostatkových objemů	96
7.4	Stanovení minimálních zůstatkových průtoků	99
7.5	Homogenita datových řad přítoku, srážek a teploty vzduchu	103
7.5.1	Homogenita dat přítoku.....	104
7.5.2	Homogenita dat srážek	106
7.5.3	Homogenita dat teploty vzduchu.....	111
7.6	Trendy v časových řadách přítoku, srážek a teploty vzduchu.....	118
7.6.1	Trend v datech přítoku.....	118
7.6.2	Trend v datech srážek	119
7.6.3	Trend v datech teploty vzduchu.....	121
8	Diskuse výsledků	124
8.1	Vyhodnocení hydrologického sucha	124
8.2	Vyhodnocení analýz trendů a homogenity v datových řadách.....	126
8.3	Vyhodnocení stanovení minimálních zůstatkových průtoků	130
9	Závěr.....	133
10	Seznam použité literatury a zdroje	135
10.1	Seznam literatury	135
10.2	Internetové zdroje.....	144
10.3	Digitální a datové zdroje	145
11	Seznam obrázků a tabulek	146
11.1	Seznam obrázků	146
11.2	Seznam tabulek	147

Seznam zkratk použitých v textu

ADI: agregovaný index sucha (Aggregate Drought Index)

CMI: index vlhkosti rostlin (Crop Moisture Index)

ČGS: Česká geologická služba

ČHMÚ: Český hydrometeorologický ústav

ČÚZK: Český úřad zeměměřičský a katastrální

DIBAVOD: Digitální báze vodohospodářských dat

DMR5G: Digitální model reliéfu 5. generace

$H_{(m,r)}$: celkový úhrn srážek (*měsíční, roční*)

HKČR: Hospodářská komora České republiky

KS: klimatologická stanice

LG: limnigrafická stanice

MPO: Ministerstvo průmyslu a obchodu

MZP: minimální zůstatkový průtok

MZE: Ministerstvo zemědělství

PHDI: Palmerův index hydrologického sucha (Palmer Hydrological Drought Index)

POH: Povodí Ohře

Q_a : dlouhodobý průměrný průtok

$Q_{(d,m,r)}$: průměrný průtok (*denní, měsíční, roční*)

Q_{ma} : dlouhodobý průměrný měsíční průtok

Q_{355d} : prahová hodnota průtoku pro určení hydrologického sucha

$Q_{(330d, 364d)}$: průtok dosažen (překročen) průměrně 330/364 dní v roce

SDI: odtokový index sucha (Streamflow Drought Index)

SMOČR: Svaz měst a obcí ČR

SRI: standardizovaný index odtoku (Standardized Runoff Index)

$T_{(m,r)}$: průměrná teplota vzduchu (*měsíční, roční*)

ÚV: úpravna vody

VD: vodní dílo

VegDRI: index odezvy vegetačního sucha (Vegetation Drought Response Index)

VTEI: Vodohospodářské technicko-ekonomické informace

VÚV T. G. M.: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

1 Úvod

Panující sucho počátkem letních měsíců roku 2015 zastihlo více či méně takřka celé území České republiky potažmo celé střední Evropy. Od té doby pozorujeme s jistou pravidelností výskyt suchých období nejen v oblastech s dlouhodobými nízkými úhrny srážek a vysokými průměrnými teplotami vzduchu, ale i ve vrcholových partiích pohraničních oblastí, kde výskyt sucha může přímo souviset s následným výskytem období s nízkými průtoky v níže položených povodích, neboť právě horské partie mají vliv na vodnost potoků a řek, kterými jsou odvodňovány. Severozápadní oblast Krušných hor a Podkrušnohoří, kde se nachází i povodí Loučenského potoka a Bouřlivce, patří vlivem srážkového stínu Krušných hor k dlouhodobě nejsušším oblastem v České republice.

Nedostatek vody v oblasti výskytu uhelných slojí je navíc umocněn silným antropogenním zásahem do zdejší krajiny a říčního systému v důsledku rozsáhlé těžební činnosti. Není pochyb, že povodí Bíliny, do kterého náleží i povodí Loučenského potoka a Bouřlivce, patří k nejvíce antropogenně ovlivněné oblasti v rámci celé České republiky. Je známo, že zásahy člověka do říční sítě významně ovlivňují přirozený hydrologický režim v povodí. Přirozené či antropogenní složky a procesy, působící na projevy a důsledky sucha, od sebe však nelze oddělovat. Vodní toky v našem zájmovém území jsou navíc hojně vodohospodářsky využívány. Problematika hydrologického sucha je tak v této oblasti i nadále velice aktuální a zasluhuje pozornost.

Ačkoliv fenomén sucha není pro území střední Evropy neznámým jevem, jeho intenzita v posledních letech výrazně stoupla (Ionita a kol. 2021). Významná letní středoevropská sucha vyskytující se od roku 2015 označuje Büntgen a kol. (2021) jako bezprecedentní za posledních 2110 let. Otázka vzniku period sucha však zůstává i nadále nejasná. Jako nejpravděpodobnější příčinou se jeví působení projevů klimatické změny a změny polohy tryskového proudění (Büntgen a kol. 2021).

Na území České republiky se dle Štěpánka a kol. (2019) do roku 2050 oteplí nejméně o 2 °C vzhledem k dlouhodobému průměru z let 1981-2010, a to bez ohledu na emisní scénář vývoje skleníkových plynů. Projevy zvýšení průměrné teploty budou patrné především v období minim během zimy a jara. Predikce vývoje srážkových úhrnů se zdá být prozatím méně jistá, než je tomu v případě predikce teplot vzduchu. Do poloviny 21. století lze očekávat stagnaci, případně pouze mírný nárůst množství srážkových úhrnů, což v kombinaci s rostoucí teplotou vzduchu navýší mimo jiné i hodnoty evapotranspirace a s ní spojené zvýšené riziko delších a více častých epizod sucha.

2 Cíle a struktura práce

Cílem předkládané diplomové práce je analýza hydrologického sucha a trendů srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka na základě poskytnutých hydrologických a meteorologických datových řad od státního podniku Povodí Ohře. Předkládaná práce je tradičně rozdělena na část rešeršní a část praktickou. Rešeršní část se zabývá podrobnou hydrologickou a fyzickogeografickou charakteristikou povodí Bouřlivce a Loučenského potoka. Dále je řešena za pomoci české i zahraniční literatury problematika hydrologického sucha, jeho příčin a dopadů na krajinnou sféru se zaměřením na poslední epizodu sucha let 2014-2020. V rámci rešeršní části práce jsou rovněž představeny datové zdroje a metody hodnocení hydrologického sucha a trendů, kterému předchází testování homogenity datových řad. Nastíněna je rovněž problematika stanovení minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích.

V praktické části diplomové práce je představena analýza srážkoodtokových dat, na kterou navazuje hodnocení hydrologického sucha metodou prahových hodnot a nedostatkových objemů. Je zde rovněž vyhodnocena analýza homogenity a trendů v datových řadách poskytnutých podnikem Povodím Ohře. Následně je věnován prostor stanovení minimálních zůstatkových průtoků s využitím plánované novely vodního zákona. V závěru praktické části jsou jednotlivé dílčí výsledky diskutovány s obdobnými studiemi.



*Obr 1: Koryto Loučenského potoka v blízkosti rybníka Leontýna
(vlastní foto autorky, září 2020)*

3 Použité metody a data

3.1 Zdroj dat

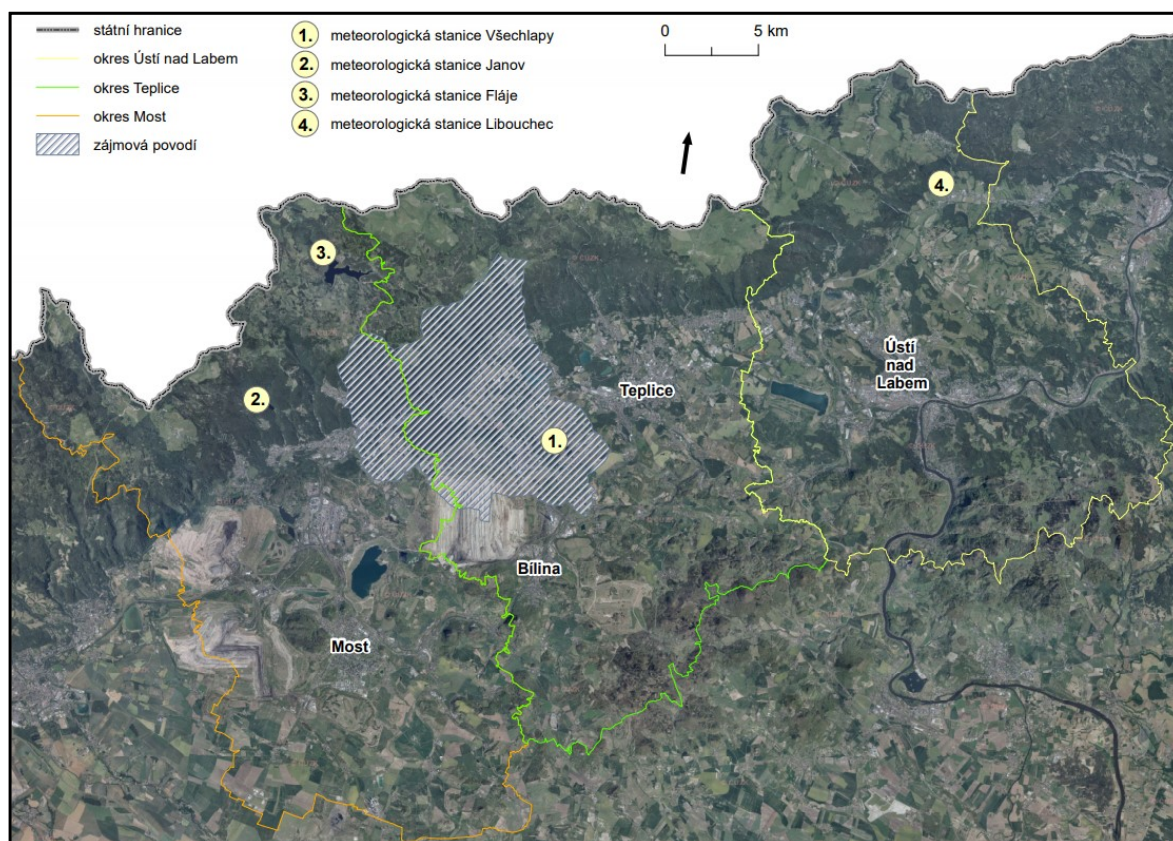
Pro práci nám byla podnikem Povodí Ohře s. p. poskytnuta meteorologická data o teplotě vzduchu a o srážkách ze čtyř meteorologických stanic a hydrologická data o průtoku ze dvou limnigrafických stanic, společně s informacemi o bilančním přítoku do vodního díla Všechlapy a hodnotami o nadvýrobě z úpravny vody v Meziboří. Seznam použitých měřících stanic je uveden společně s přesnou lokalizací, nadmořskou výškou umístění stanice, typem měřící stanice a roky zaznamenaného měření v tabulce 1.

Tab. 1: Měřící stanice využité v této práci (Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

název stanice	souřadnice		nadmořská výška	typ měřící stanice	dostupná měření ¹ (včetně výpadků v měření)
	X (S-JTSK Křovák EN)	Y (S-JTSK Křovák EN)			
Lahošť	-780564	-978023	216 m	hydrologická	od 13. 4. 2005 do 31. 10. 2020
Duchcov	-780721	-978355	225 m	hydrologická	od 13. 4. 2005 do 31. 10. 2020
Všechlapy	-779722	-979242	216 m	meteorologická	od 1. 11. 1994 do 31. 10. 2020 (S) od 27. 11. 2001 do 31. 10. 2020 (T)
Fláje	-792176	-968576	739 m	meteorologická	od 1. 11. 1994 do 31. 10. 2020 (S) od 27. 11. 2001 do 31. 10. 2020 (T)
Janov	-795278	-976664	492 m	meteorologická	od 13. 4. 2005 do 31. 10. 2020 (S+T)
Libouchec	-760368	-965958	378 m	meteorologická	od 13. 4. 2005 do 31. 10. 2020 (S+T)

Z meteorologických stanic se na našem zájmovém území nachází pouze stanice Všechlapy. Ostatní tři meteorologické stanice se nacházejí ve vedlejších povodích. Lokalizace všech meteorologických stanic je patrná z obrázku 2. Lokalizace limnigrafických stanic je znázorněna na obrázku 7.

¹ Písmeny S (srážky) a T (teplota) jsou označena dostupná měření zmíněných meteorologických prvků pro konkrétní stanici.



Obr. 2: Ortofotomapa s lokalizací všech využitých meteorologických stanic
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČÚZK, ArcMap)

Meteorologická data

Klimatologická data, která nám byla poskytnuta Povodím Ohře s. p., obsahují zaznamenané denní průměrné úhrny srážek v mm a denní průměrné hodnoty teploty vzduchu ve °C z výše zmíněných meteorologických stanic. Konkrétně se jedná o měřicí stanice Všechny, Fláje, Janov a Libouchec. Jednotlivé datové řady jsou bohužel poměrně krátkého trvání s několika chybějícími hodnotami způsobenými výpadky v měření s dobou trvání od jednoho dne až po více než jeden měsíc. Tím jsou postiženy především časové řady teploty vzduchu, avšak ani srážkovým řadám se výpadky v měření během sledovaného období nevyhnuly. Výpadky v řádu dnů byly při zpracování dat zanedbány. Výpadky delšího časového trvání v řádu měsíců byly doplněny za pomoci metody lineární regrese.

U některých stanic jsou data dostupná z období, kdy na ostatních stanicích ještě k monitoringu nedocházelo. Jedná se o stanice Všechny a Fláje, kde data z monitoringu srážek máme k dispozici již od roku 1994. U ostatních stanic se začalo s monitoringem srážek až v roce 2005. Teplotní řady byly rovněž na stanicích Všechny a Fláje zaznamenávány o několik let dříve, než je tomu na stanicích Janov a Libouchec. S monitoringem teploty vzduchu se začalo na klimatické stanici Všechny a Fláje koncem roku 2002. Na stanicích Janov a Libouchec se teplota vzduchu zaznamenává od roku 2005. Podrobněji je problematika chybějících dat popsána níže v textu.

Pro následné analýzy a názornější vyhodnocení byla data denních průměrných hodnot přepočítána za pomoci sumarizace a aritmetického průměru na měsíční průměrné hodnoty teplot vzduchu (T_m) a celkové měsíční hodnoty úhrnu srážek (H_m). Následně došlo stejným způsobem rovněž k převedení údajů měsíčních hodnot na roční průměrné hodnoty teplot vzduchu (T_r) a celkové roční hodnoty úhrnu srážek (H_r). Při analýzách se pracovalo vždy tak, aby byl pokryt celý hydrologický rok. To znamená, že roky, u kterých chyběla data za několik po sobě jdoucích měsíců, byly vyřazeny. Jedná se o měsíce květen až říjen roku 2005 (Janov, Libouchec), u kterých nebyla dodána datová řada za celý hydrologický rok, ale pouze za určité dny (měsíce). Z tohoto důvodu se do analýz nezahrnula data z kalendářního roku 2005.

Pro analýzu klimatických poměrů v povodí Bouřlivce byla dostupná data z měřicí stanice **Všechlapy**, která je situována na pravém břehu u hráze stejnojmenné přehradní nádrže v nadmořské výšce 216 m. Klimatickou řadu dat o srážkách jsme měli v době zpracování diplomové práce k dispozici od 1. 11. 1994 do 31. 10. 2020. Tato řada dat patří k nejdelším a nejúplnějším datovým řadám ze všech nám dostupných datových řad. Údaj pro srážky chybí za celé období pouze u jednoho dne, a to 31. 10. 2018. Data o teplotě vzduchu pak nebyly uvedeny v řádu jednotek dnů v průběhu celého zkoumaného období. V tomto případě byly chybějící denní údaje o teplotě vzduchu v následných analýzách zanedbány.

Klimatická stanice **Fláje**, nacházející se v nadmořské výšce 739 m, je umístěna u hráze stejnojmenné přehradní nádrže, v povodí Flájského potoka. Tato stanice zaznamenává data o srážkách rovněž od 1. 11. 1994. Poskytnutá datová řada končí dne 31. 10. 2020. Stejně jako u klimatické stanice Všechlapy zde nebyl zaznamenán údaj o množství srážek dne 31. 10. 2018. Kromě tohoto dne je poskytnutá datová řada srážek z meteorologické stanice Fláje úplná. Podstatně více chybějících dat v řádu několika dnů obsahuje datová řada teploty vzduchu. Tyto chybějící údaje byly v následujících analýzách rovněž zanedbány.

Klimatická stanice **Libouchec** je situována v povodí Jílovského potoka v nadmořské výšce 378 m. Data o srážkách máme z této stanice k dispozici od 13. 4. 2005 do 31. 10. 2020. Ani tato datová řada není bohužel kompletní. Data o teplotě vzduchu nejsou na této klimatické stanici k dispozici v řádu jednotek dnů během celého zkoumaného hydrologického období. V případě dat o srážkách se vždy jedná pouze o jednodenní výpadky. Konkrétně lze uvést 31. 10. roku 2013 a 2018. Po datové řadě z klimatické stanice Všechlapy a Fláje se jedná o druhou nejkomplexnější datovou řadu z nám poskytnutých datových řad.

V povodí Loupnice, v nadmořské výšce 492 m, se nachází klimatická stanice **Janov**. Stanice je situována u vodárenské přehradní nádrže Janov, která se nachází severně od Litvínova. Data o srážkách máme opět k dispozici pouze od 13. 4. 2005 do 31. 10. 2020. Stejně jako u předchozí klimatické stanice zde z celé poskytnuté datové řady chybí data o srážkách ze dne 31. 10. 2018.

Data o teplotě vzduchu nejsou k dispozici za několik dnů, a to především v roce 2013. V roce 2010 pak chybí data o teplotě vzduchu za období od 1. 7. do 19. 8. Více než měsíční výpadek dat v červenci a v srpnu roku 2010 již nelze z hlediska následujících analýz opomenout.

Nepříjemnosti spojené s chybějícími údaji v časových řadách lze řešit různými způsoby. Ekeu-wei, Blackburn a Pedruco (2018) uvádějí hned několik přístupů k imputaci (doplnění) chybějících hodnot. Autoři využívají základního dělení přístupů a metod na statistické a empirické. Statistické metody se zaměřují na vyplňování dat simulací trendů nebo vzorců v rámci dostupných datových řad pomocí metod, jako je regresivní analýza, aritmetický průměr, případně interpolace, nebo využití umělé neuronové sítě. Další tradiční přístup zahrnuje úplné odstranění neúplných záznamů. Ačkoliv je tato metoda obvykle výhodná, musíme počítat s celkovým snížením velikosti vzorku, čímž může dojít ke zkreslení a snížení přesnosti standardních statistických postupů. V našem případě je tato metoda z hlediska již tak krátkých časových řad zcela nevhodná. Empirické metody pro odhad hodnot vyžadují datové sady z měřících stanic vyskytujících se poblíž zájmové oblasti, ale i další datové prostředky jako jsou digitální výškové modely, nebo satelitní snímky. Tento postup lze aplikovat v rozsáhlých oblastech bez možnosti získávání relevantních dat z pozemních měřících přístrojů. Aplikaci různých metod pro imputaci chybějících hodnot meteorologických datových řad a porovnání jejich spolehlivosti se věnovali ve své studii například Grzymala-Busse a Hu (2001), nebo Kajewska-Szkudlarek a Stańczyk (2018). Na aplikaci metod pro doplnění chybějících dat o teplotě vzduchu se zaměřuje práce Kotsiantis a kol. (2006). Sattari, Rezazadeh-Joudi a Kusiak (2017) se ve své práci věnují hodnocení metod pro odhad chybějících údajů v datové řadě srážek.

Jak již bylo zmíněno, v této práci byla pro doplnění chybějících měsíčních hodnot využita metoda lineární regrese, kterou ve své diplomové práci využili i například Jedličková (2019) a Ledvinka (2008). Princip této statistické metody spočívá v získání předpisu (rovnice ve tvaru $y = a + bx$), pomocí kterého následně budeme schopni předpovědět vztah dvou proměnných, ve kterém závislá proměnná y (odezva) závisí na nezávislé proměnné x (prediktor), za předpokladu existence příčinné souvislosti mezi proměnnými (Kladivo 2013). V našem případě závislé proměnné představovaly řady, které potřebovaly doplnit. Pro dopočet červencové hodnoty teploty vzduchu za rok 2010 na klimatické stanici Janov byly využity údaje ze stanice Janov pro měsíc červenec za roky 2006-2020. Tyto údaje byly vyneseny do grafu společně s hodnotami pro měsíc červenec za roky 2006-2020 ze stanice Fláje, která představuje jedinou relevantní stanici pro dopočet dat. Poté došlo k proložení nově vytvořeného grafu lineární spojnicí trendu. Na základě předpisové rovnice mohlo následně dojít k dopočítání hodnoty teploty vzduchu za měsíc červenec roku 2010. Stejný postup byl aplikován i v případě dopočítání hodnoty teploty vzduchu za měsíc srpen roku 2010.

Hydrologická data

Hydrologická data nám rovněž poskytlo Povodí Ohře s. p. Jedná se o datové řady denních průměrných hodnot průtoku (Q_d) z limnigrafických stanic Lahošť a Duchcov, společně s datovými řadami o bilančním přítoku do VD Všechlapy a hodnotami odtoku z nadvýroby z úpravny vody v Meziboří. Z jednotlivých datových řad došlo následně k výpočtu průměrných měsíčních (Q_m) a průměrných ročních (Q_r) hodnot, které byly využity při následných analýzách.

Na rozdíl od meteorologických řad jsou hydrologické řady v denním kroku víceméně kompletní. Výjimku tvoří data z limnigrafické stanice **Lahošť**, nacházející se v oblasti ř. km 5,778 na vodním toku Bouřlivec, u které došlo ve dnech 13. 8. 2013 až 16. 1. 2014 k rekonstrukci limnigrafické stanice. Hodnoty průtoků tak nebyly v této době zaznamenávány. K jejich doplnění na úrovni průměrných měsíčních průtoků došlo za pomoci lineární regrese, jejíž postup je shodný s doplněním chybějících hodnot v meteorologických řadách, který byl popsán výše v textu. K doplnění hodnot byla využita data z limnigrafické stanice Duchcov na Loučenském potoce z nám dostupných let. S rekonstrukcí měrného profilu Lahošť došlo rovněž k revitalizaci koryta Bouřlivce v okolí měrného profilu o celkové délce 0,54 km. V současnosti je dno měrného profilu tvořeno přírodní kamenitou úpravou s balvany a pozvolnými svahy s pásmem břehové vegetace, která již začala kolonizovat i samotné prostředí potoka. Měřicí stanice je lokalizována na východním okraji intravilánu stejnojmenné obce Lahošť. Kromě zmíněného výpadku v měření máme k dispozici hodnoty průtoků z limnigrafické stanice Lahošť na Bouřlivci od 1. 11. 2005 do 31. 10. 2020.

Limnigrafická stanice **Duchcov** se nachází v oblasti ř. km 0,653 Loučenského potoka v nadmořské výšce 225 m. Dno měrného profilu v blízkosti limnigrafu je tvořeno nepropustnou kamenitou dlažbou s opevněnými prudkými svahy bez vegetace. Datovou řadu o průtoku máme z této měřicí stanice k dispozici od 1. 11. 2005 do 31. 10. 2020.

Využita byla i datová řada bilančního přítoku do vodního díla (dále pouze VD) Všechlapy. Jedná se o nejdelší poskytnutou hydrologickou datovou řadu s kompletním záznamem za posledních 25 let měření od 1. 11. 1994 do 31. 10. 2020. Objem přítoku k profilu hráze v daném časovém okamžiku nelze měřit přímo. Pro výpočet bilančního přítoku se využívá hodnota bilancovaného odtoku z nádrže a změny úrovně hladiny v blízkosti přehradní hráze (Bíňovec, 2007). Hodnoty bilančního přítoku do nádrže Všechlapy za 24 hodin jsou v našem případě vztaženy vždy k 7. hodině ranní.

Na hydrologický režim v povodí Loučenského potoka má mimo jiné vliv i odtok v podobě nadvýroby z úpravny vody v Meziboří (lokalizace úpravny viz obrázek 7). Proto nám byla poskytnuta také datová řada odtoku pro hodnocení vlivu vypouštěné vody na průtok v Loučenském potoce. Odtok z úpravny vody napájí Poustevnický potok, který následně ústí do potoka Radčického.

Vypouštění vod z nadvýroby je během roku nepravidelné. Kromě vod z nadvýroby je do Poustevnického potoka rovněž vypouštěna odsazená voda z kalového hospodářství (Fedor a kol. 2016). K dispozici nám byly průměrné denní hodnoty průtoku z dostupného období od 1. 11. 2005 do 31. 10. 2020. Do 14. 10. 2014 se jedná o okamžité nahlášené hodnoty obsluhou v Meziboří k 7. hod. ranní. Od 15. 10. 2014 se jedná již o datové řady průměrného denního odtoku.

Z důvodu relativně krátkých výše zmíněných datových řad byly výsledky analýzy trendů srážkoodtokových dat porovnány s daty ze stanic s delším monitoringem. Kritéria výběru porovnávacích stanic a jednotlivé výsledky diskutuje kapitola 8.2. K porovnání meteorologických dat byly vybrány stanice Teplice (U1TEPL01) a Hrob, Křižanov (U1HROB01). Stanice Teplice se nachází v nadmořské výšce 250 m. Data o srážkových úhrnech a teplotě vzduchu jsou u této stanice k dispozici od roku 1961. Data o stejné délce monitoringu srážkových úhrnů poskytuje i stanice Hrob, Křižanov, nacházející se v nadmořské výšce 356 m v povodí Bouřlivce. K porovnání hydrologických dat byla vybrána data z limnigrafické stanice na profilu Klíšského potoka z dostupných hydrologických let 1991-2020. Klíšský potok vzniká na území obce Libouchec v nadmořské výšce 447 m pomocí umělé bifurkace oddělením od Jílovského potoka. V nadmořské výšce 139 m se Klíšský potok vlévá jako levostranný přítok do řeky Bíliny. Povodí Klíšského potoka zaujímá plochu 40,2 km² a délka toku je 13,9 km. Dlouhodobý průměrný průtok Q_a z let 1991-2020 je u Klíšského potoka 0,25 m³/s.

3.2 Vyhodnocení hydrologického sucha

Hydrologické sucho bylo v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka zkoumáno pomocí prostých indexů vycházejících z předem definovaných prahových hodnot Q_x a dále rovněž pomocí metody nedostatkových objemů. Obě metody patří k velice oblíbeným a hojně využívaným metodám pro analýzu hydrologického sucha. V této práci bylo hydrologické sucho analyzováno na základě M-denních prahových hodnot průtoku Q_{330} , Q_{355} a Q_{364} . V našem případě do výpočtu prahových hodnot vstupovaly hodnoty denních průměrných průtoků Q_d z limnigrafu Lahošť a Duchcov. Jako hydrologicky suché byly označeny dny, kdy průtok poklesl pod mezní hodnotu Q_{355d} . Pro stanovení extrémně suchých dní byla využita hodnota průtoku Q_{364d} . Prahová hodnota průtoku může být konstantní po celý rok, případně proměnlivá na základě denního či měsíčního kroku. Zatímco zvolená konstantní prahová hodnota je vhodnější pro definování suchých období a sezónnosti sucha, pomocí proměnlivé prahové hodnoty lze určit odchylky od normálního chodu ročních průtoků (Van Loon, Van Lanen 2012).

Metoda hodnocení nedostatkových objemů je založena na principu vymezení a následného vyhodnocení období, ve kterém byl zaznamenán průtok nižší než zvolená prahová hodnota průtoků. Pracovalo se s prahovou hodnotou průtoků Q_{355d} , pro kterou bylo následně dopočítáno deficitní množství vody. Výsledná hodnota nedostatkového objemu (v m^3) udává teoretické množství akumulované vody potřebné k zabezpečení limitního průtoků definovaného zvolenou prahovou hodnotou (Tremel 2011). V našem případě byl vypočítán nedostatkový objem pro každý den s podlimitním průtokem Q_{355} .

Nedostatkový objem lze určit podle vzorce:

$$NO = \sum_{i=1}^t (LQ - Q_i) \cdot 24 \cdot 3600$$

kde t udává počet dnů s průtokem nižším než zvolená prahová hodnota, LQ představuje velikost limitního průtoků (v m^3/s) a Q_i odpovídá průtoků i -tého dne s průtokem nižším než zvolená prahová hodnota (Tremel 2011).

Hodnoty nedostatkových objemů v absolutních hodnotách z více měřících stanic nelze vzájemně porovnávat. Abychom mohli hodnoty nedostatkových objemů porovnávat s hodnotami z jiné limnigrafické stanice, je zapotřebí takové hodnoty standardizovat (Tremel 2011; Brázdil, Trnka a kol. 2015; Fiala 2011). V našem případě byly hodnoty nedostatkových objemů standardizovány vydělením velikostí průtoků prahové hodnoty pomocí vzorce:

$$NO_{st} = \frac{NO}{LQ \cdot t \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 100$$

kde NO představuje velikost nedostatkového objemu (v m^3), LQ značí velikost limitního průtoků (v m^3/s) a t je celkový počet dnů období s průtokem nižším, než je hodnota limitního průtoků. Výsledná hodnota standardizovaného nedostatkového objemu představuje bezrozměrné číslo, které lze uvádět v procentech (Tremel 2011).

3.3 Vyhodnocení trendu srážkoodtokových dat

3.3.1 Homogenita v datových řadách

Účelem testování homogenity datových řad je nalezení zlomových bodů (roků), které rozdělují analyzovanou datovou řadu na období s rozdílnými podmínkami pozorování na dané stanici. Zdrojem nehomogenity může být manipulace či výměna měřícího přístroje, změna pozorovacího postupu, případně antropogenní zásah v okolí místa měření (Beaulieu a kol. 2009). Za homogenní pak považujeme datové řady, jejichž kolísání hodnot bylo zapříčiněno pouze přírodními vlivy.

Metody testování homogenity se tradičně dělí na absolutní a relativní. V případě absolutních metod sledujeme, zda se homogenita vyskytuje pouze v jedné testované datové řadě. Kaňok (1997) tvrdí, že absolutně homogenní řada pozorovaného prvku zřejmě neexistuje, může se k ní pouze blížit. Relativní metody stanovení homogenity využívají zároveň i jinou datovou řadu, která je označena za referenční a zároveň o ní víme, že je i homogenní (Štěpánek 2004). Od testování relativní homogenity bylo v této práci upuštěno, neboť nebyla k dispozici vhodná homogenní referenční datová řada, která by se dala pro testování využít (viz kapitola 7.5). Testování homogenity předchází určení vývojového trendu v datových řadách (Kadeřábek 2018).

Testováním homogenity byly podrobeny časové řady bilančního přítoku do VD Všechlapy a datové řady průměrných, sezónních a ročních srážek a teploty vzduchu ze stanic Všechlapy, Fláje, Janov a Libouchec. Pro vzájemné porovnání výsledků z jednotlivých měřících stanic je vhodné určit stejně dlouhé období v rámci kterého byly datové řady analyzovány, což by v našem případě znamenalo zkrácení většiny datových řad o několik let. Od tohoto přístupu muselo být z důvodu velice krátkých datových řad upuštěno. K porovnání výsledků tak došlo pouze mezi stanicemi se stejnou délkou pozorování v rámci daného sledovaného jevu (viz kapitola 3.1). Homogenita u stanic s odlišnou délkou časové řady, byla sledována pouze v rámci každé měřící stanice samostatně. Pro všechny zvolené testy byla určena hladina významnosti (signifikance) 0,05.

Pro stanovení absolutní homogenity byl využit **Pettittův test** (Pettitt 1979), označován rovněž jako Mann-Whitney-Pettitt test, který je založen na Mann-Whitney dvouvýběrovém t testu (např. Vlach 2019). Jedná se o neparametrický test běžně využívaný k detekci bodu změny v hydrologických a klimatologických řadách (Mallakpour, Villarini 2015). Indikace bodu zlomu probíhá na základě statisticky významné střední hodnoty, díky které je datová řada následně rozdělena na dvě části (Vlach 2019). Pettittův test je statisticky definován jako:

$$K_T = \max |U_{t,T}|$$

kde

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \operatorname{sgn}(X_i - X_j)$$

jako T je označena délka datové řady a jako t je pak označen rok pravděpodobné změny. Významnost testovací statistiky určuje maximální hodnota (K_T), kterou je označen pravděpodobný bod změny.

Nulová hypotéza H_0 nepředpokládá změnu v distribuci náhodných proměnných. V takovém případě je daná datová řada homogenní. To, zda dojde k přijetí či zamítnutí hypotézy H_0 se rozhodne na základě vypočítané hodnoty p . Pokud je hodnota p menší než námi zvolená hladina významnosti

($\alpha = 0,05$), dojde k zamítnutí hypotézy H_0 a k přijetí alternativní hypotézy H_a . Využití Pettittova testu pro určení homogenity v hydrologických a klimatologických řadách najdeme například v práci Langhammera a kol. (2015), kteří se zabývali změnami odtoku v šumavském povodí Vydry. Ve své práci Pettittův test využil také Královec (2009), Kadeřábek (2018), nebo Volková (2010).

Na obdobném principu jako Pettittův test, pracuje **Buishandův test** (Buishand 1982). U obou zmíněných testů není potřeba předem znát rok zlomu. Avšak Langhammer a kol. (2015) dále upozorňují na vyšší citlivost testu ke zlomům uprostřed časové řady. Tento test byl zvolen za účelem ověření výsledků Pettittova testu a parametrického SNHT testu. Buishandova testovací statistika S je definována jako:

$$S(k) = \sum_{i=1}^k (x_i - \mu_X) \quad k = 1, \dots, n$$

Datová řada může být homogenní bez jakéhokoliv bodu změny, pokud $S(k) \cong 0$. Význam testovací statistiky lze vyhodnotit pomocí následující rovnice:

$$R = \frac{\text{Max}(S_k) - \text{Min}(S_k)}{\bar{x}}$$

Jako další byl využit **SNHT test** (Standard Normal Homogeneity Test), který byl původně navržen pro nalezení jednoho zlomu (single shift test) v datové řadě (Alexandersson 1986). Později byl test rozšířen pro detekci lineárních trendů a nalezení více než jednoho zlomu v datové řadě (Alexandersson 1995). V současné době má SNHT test již několik verzí, a kromě relativní homogenity je možné testovat i homogenitu absolutní, tj. samostatné klimatické řady. Tohoto testu bylo využito i v této práci pro určení absolutní homogenity v datových řadách teploty vzduchu (single shift test) (Alexandersson 2001). Na rozdíl od Pettittova testu a Buishandova testu, které jsou citlivé na určení bodu zlomu uprostřed datové řady, je SNHT test citlivý na nalezení bodu zlomu právě na začátku a na konci datové řady (Martínez a kol. 2009). Testovací statistika T je definována jako:

$$T_k = kz_1^2 + (n-k)z_2^2 \quad (1 \leq k < n)$$

kde

$$Z_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad Z_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

Výsledná hodnota se následně stanoví podle vzorce $T = \max T_k$. Nulová hypotéza H_0 předpokládá normální rozdělení hodnoty Z , a tudíž žádný výskyt bodu změny. Pokud je výsledné T větší než předem definovaná kritická mez, můžeme nulovou hypotézu H_0 zamítnout a přijmout alternativní hypotézu H_a , která předpokládá, že daná datová řada nemá normální rozdělení a lze tak určit rok zlomu k .

Stejně, jako u ostatních testů homogenity byl rok zlomu určen při nesplnění kritické 5 % hodnoty významnosti (tj. $\alpha = 0,05$) na 95 % hladině spolehlivosti. K testování hydrologických a meteorologických datových řad byl SNHT test využit například v práci Vlacha (2019), který se zabýval hydrologickým suchem v pramenných oblastech Krušných hor, resp. v povodí horní Rolavy, horní Svatavy a Načetínského potoka.

Jako doplňující metoda, sloužící především k vizualizaci dat, byla zvolena metoda jednoduchých součtových čar. Tato metoda je založena na postupném načítání hodnot v chronologickém pořadí. Antropogenní ovlivnění datové řady je možno vyloučit v případě rovnoměrného nárůstu hodnot, které tvoří lineární přímku. V případě odchýlení hodnot od lineárního průběhu a současně nalezení bodu zlomu, můžeme uvažovat změny během měření (Kliment, Matoušková 2005). Součtové čáry, jako doplněk k testům homogenity zvolili rovněž i Vlach (2019), Jedličková (2019), nebo Kadeřábek (2018).

K určení homogenity pomocí Pettittova testu a SNHT testu byl primárně použit volně stažitelný software AnClim. Buishandův test byl proveden v makru XLSTAT (Addisoft 2020), který je stažitelný do programu MS Excel. V XLSTAT byly rovněž ověřeny výsledky testů homogenizace prováděné v AnClim (Štěpánek 2003). Následná tvorba jednoduchých součtových čar a jejich vyhodnocení bylo provedeno v prostředí MS Excel.

3.3.2 Testování trendu v datových řadách

Pro testování přítomnosti trendu v datových řadách byl využit neparametrický **Mann-Kendallův test** (Kendall 1975), který se běžně využívá k detekci monotónního trendu v datových hydro-klimatických datových řadách. Výhoda užití Mann-Kendallova testu spočívá především v jeho jednoduchosti a schopnosti se vyrovnat s neúplnými datovými řadami nebo odlehlými hodnotami (Sulaiman a kol. 2015; Libiseller 2004). Mann-Kendallův test byl použit například v práci Klimenta a kol. (2011), kteří se věnovali hodnocení trendů v posledních 50 letech v hydro-klimatických datových řadách ve vybraných povodích Šumavy, Jeseníků a Krušných hor. Ze zahraničních autorů Mann-Kendallův test se své studii využili například Yue a Wang (2004) pro nalezení trendu

v hydrologické datové řadě, nebo Mondal a kol. (2012), kteří se zaměřili na testování trendu v datech klimatologických.

Testovací statistika S Mann-Kendallovu testu je definována jako:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{t=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_1 - x_k)$$

kde n značí délku časové řady a x_1 a x_2 značí po sobě jdoucí datové hodnoty.

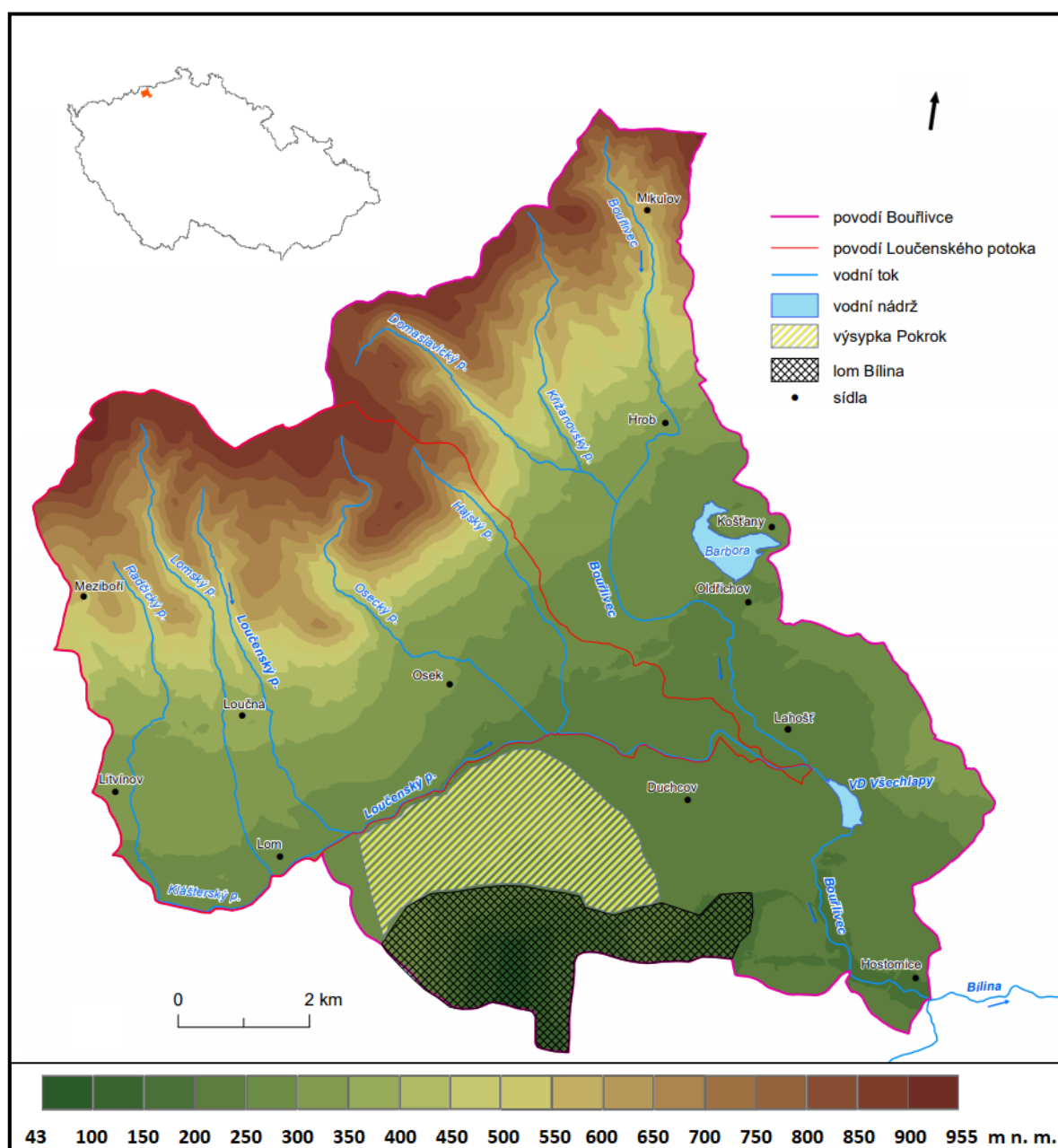
$\operatorname{Sgn}(x)$ pak definujeme jako:

$$\operatorname{Sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

Samotný trend Mann-Kendallův test detekuje na základě dvou parametrů, a to míry signifikace p , která značí sílu testu a odhad směrnice S (resp. testovací statistika τ), určující velikost a směr trendu. Rostoucí trend je indikován, pokud S tvoří kladné hodnoty. V případě záporných hodnot S je indikován trend klesající (Onoz, Bayazit 2012; Burn, Elnur 2002). Nulová hypotéza H_0 Mann-Kendallovu testu předpokládá neexistenci trendu (data jsou náhodná a na sobě nezávislá). Alternativní hypotéza H_a předpokládá výskyt trendu, podle zmíněných parametrů. V této práci byl sezónní Mann-Kendallův test aplikován na datové řadě bilančního přítoku do VD Všechny a dále pak na datové řadě průměrných, sezónních a ročních srážek a teploty vzduchu ze stanic Všechny, Fláje, Janov a Libouchec. Při hledání trendu byla stejně jako při testování homogenity v datových řadách zvolena hladina významnosti 0,05. K testování trendu v hydrologických a meteorologických datových řadách bylo využito makro XLSTAT, které bylo implementováno do prostředí MS Excel (Addisoft 2020).

4 Fyzickogeografická charakteristika zájmových povodí

Povodí Loučenského potoka a Bouřlivce se nachází v severozápadních Čechách, ve východní části Krušných hor a Podkrušnohoří v Mostecké pánvi. Řada vodních toků v této krajině je antropogenně ovlivněna z důvodu rozsáhlé těžební činnosti hnědého uhlí. Obě povodí spadají pod správu Povodí Ohře s. p. Podle administrativního členění spadá zájmové území do Ústeckého kraje, okres Teplice. Přehledová mapa zájmových povodí s nástinem členěním vodních toků a lokalizací vybraných sídel je na obrázku 3.



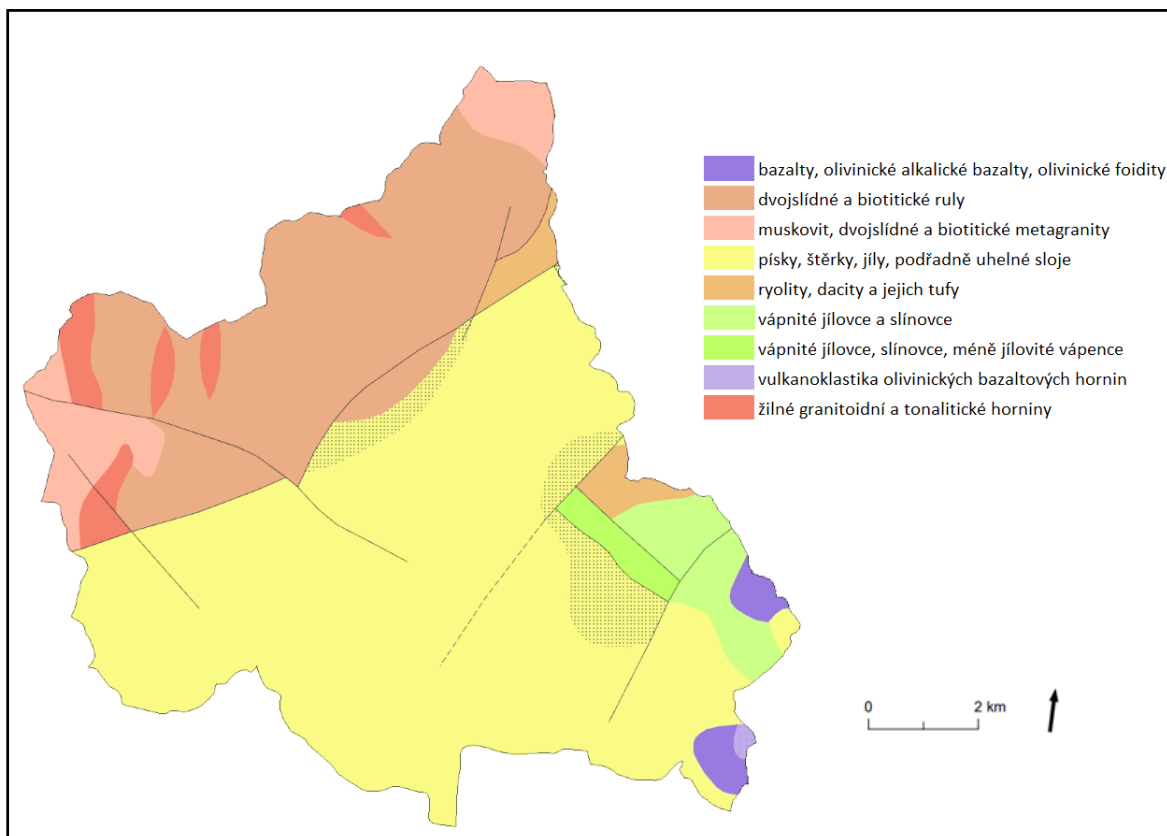
Obr. 3: Přehledová mapa zájmového území
(Zdroj: vlastní zpracování dat DIBAVOD a ČÚZK, ArcMap)

4.1 Geologické poměry

Povodí Loučenského potoka a Bouřlivce spadá do geologické jednotky zvané Český masív tvořené zbytkem variského (hercynského) horstva, vyvrásněného během variské (hercynské) orogeneze, ke které došlo v období před 380-300 miliony lety. Na stavbě Českého masívu se podílejí v první řadě horniny prekambriického a paleozoického stáří. Krystalický základ zájmového území pak tvoří Sasko-durynská oblast nazývaná též saxothuringikum, přesněji krušnohorské krystalinikum, které je samostatnou jednotkou Českého masívu, a krystalické horniny proterozoického stáří v oblasti podkrušnohorského prolomu (oherského riftu), který je z části vyplněn terciárními sedimenty podkrušnohorských pánví a produkty neoidního vulkanismu (Chlupáč a kol. 2011).

Geologický vývoj oblasti dnešních Krušných hor (krušnohorského krystalinika) začal již koncem starohor a počátkem prvohor, kdy se během kadomského vrásnění (asi před 570 mil. let) začalo vytvářet nevysoké pohoří tvořené v centrální části krystalickými břidlicemi, rulami, migmatity, svory a fylity. Tím došlo ke stmelení staršího krystalinika se sedimenty pocházejícími ze starších prvohor (Svoboda a kol. 1964). Následné dlouhé denudační období střídá prvohorní variské vrásnění, které dalo oblasti základ pozdější minerálové pestrosti. Současnou podobu Krušné hory získaly až během třetihorních alpinských horotvorných procesů, které jsou významné především působící neotektonickou a tepelnou aktivitou, s jejíž pomocí mohlo dojít ke vzniku řady zlomů a příkopových propadlin, z nichž nejvýznamnější je podkrušnohorský prolom z počátku paleogénu, tvořený třetihorními usazeninami (Melichar, Krása 2009).

Podkrušnohorský prolom je ohraničen od krušnohorského krystalinika v severozápadním směru krušnohorským zlomem, který je téměř všude ukrytý pod mocnými vrstvami sutí na úpatí svahů pohoří. S odezvou alpského vrásnění rovněž souvisí vznik podkrušnohorských pánví (Chebská pánev, Sokolovská pánev, Mostecká pánev), které vznikly díky akumulaci sedimentů nadložního a podložního souvrství v zaklesávajícím území prolomu. Tímto způsobem se utvořila místní hnědouhelná sloj (Váně 1985), která místy dosahuje mocnosti několika desítek metrů. Ve střední části Mostecké pánve se mocnost sloje pohybuje v průměru kolem 16 až 24 m. Na okrajích pánve klesá mocnost pouze na 1 m. Mocnost vrstvy sedimentů nad uhelnou slojí se pohybuje od několika metrů na okrajích pánve až po několik desítek metrů v oblasti úpatí Krušných hor (Bažant 2010). Ze všech jmenovaných pánví na naše zájmové území zasahuje pouze pánev Mostecká (severočeská), která je rovněž s rozlohou přes 1000 km² největší a nejvýznamnější podkrušnohorskou pánví (Chlupáč a kol. 2011).



Obr. 4: Geologická mapa zájmové oblasti
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČGS, ArcMap)

Severní část povodí Loučenského potoka a Bouřlivce, spadající pod samostatnou geologickou jednotku krušnohorské krystalinikum, tvoří dvojslídne a biotitické metamorfované paruly prekambričského stáří (ČGS 2020a). Tento druh horniny tvoří podstatnou část krušnohorského krystalinika východní části Krušných hor. V severní části můžeme rovněž najít oblasti výskytu flájské žuly. Jedná se o loučensko-flájskou žílu žulového porfyru S-J směru, která prostupuje samostatnou geologickou jednotku flájsko žulový masív. Petrograficky je tato žíla tvořená převládajícím biotitickým žulovým porfyrem a biotitickým granodioritovým porfyritem (Škvor 1975).

V jižní části povodí Loučenského potoka a střední části povodí Bouřlivce se nachází již zmiňované terciérní usazeniny v podobě písků, štěrků, jílu a uhelných slojí. O něco pestřejší je jižní oblast povodí Bouřlivce. Mimo odlišnou geologickou stavbu hornin oproti zbytku území se zde nacházejí i linie několika příčných zlomů, mezi kterými prostupují prekambričské a paleozoické vulkanity a metavulkanity (ryolity, dacity). Dále se zde vyskytují vápnité jílovce a slínovce z éry mezozoika. Malou částí do povodí Bouřlivce zasahují i vulkanity Českého masívu z období kenozoika. Jedná se především o olivinické alkalické bazaltové horniny a starší výlevy a intruze ve středu podkrušnohorského prolomu (ČGS 2020a). Geologie zájmového území je na obrázku 4.

4.2 Geomorfologické poměry

Jako celek představuje krušnohorské pohoří vyzdvíženou kru krystalinika s jednostranným úklonem k severozápadu. Horského charakteru krajiny si můžeme povšimnout pouze z české strany podkrušnohorských pánví, kde je výškový rozdíl místy až 500 m (Škvor 1975; Demek, Mackovčin 2006).

Povodí Loučenského potoka a Bouřlivce patří podle geomorfologického členění reliéfu (Bína, Demek 2012; Balatka, Kalvoda 2006) do Hercynského systému, resp. do krušnohorské soustavy. Do studovaných povodí zasahují dvě podsoustavy. Do severního okraje sahá Krušnohorská hornatina. Rozsáhlejší jižní část je tvořena Podkrušnohorskou podsoustavou, která propojuje prolomy podkrušnohorských pánví s areály neovulkanitů.

V rámci Krušnohorské hornatiny zájmová povodí spadají dále do celku Krušné hory a podcelku Loučenská hornatina, která se rozkládá na ploše 805 km². Kra Loučenské hornatiny je ukloněna směrem do Saska, tedy S-Z směrem. Na opačné straně je naopak ostře omezena vysokým zlomovým svahem. Pro celé území tohoto podcelku je typické hojné zastoupení tvarů vzniklých zvětráváním a odnosem skalních hornin. Rozsáhlým okrskem Loučenské hornatiny je Flájská hornatina, zasahující do severní části zájmových povodí. Nejvyšším bodem tohoto okrsku je žulovým porfyrem budovaný suk Loučná sahající do výšky 956 m n. m. s izolovanými skalami (Bína, Demek 2012).

Podcelek Chomutovsko-teplická pánev spadá hierarchicky pod nejrozsáhlejší vyhloubený geologický celek Mostecká pánev a Podkrušnohorskou podsoustavu. Podcelek Chomutovsko-teplická pánev zaujímá jižní část zájmových povodí. Tektonicky je tento podcelek se středním sklonem 2° 40' součástí podkrušnohorského prolomu. Tento pouze mírně zvlněný povrch plošin, říčních teras a údolních niv je v současné době již velmi silně antropogenně ovlivněn a pozměněn především velkoplošnou povrchovou těžbou hnědého uhlí a terénními potřebami průmyslu. Úpatí Krušných hor je lemováno náplavovými kužely a úpatními haldami. Rysy antropogenně modifikované krajiny nese mimo jiné i okrsek Duchcovská pánev v rámci kterého se nachází jižní část našich dvou zájmových povodí (Bína, Demek 2012).

Mackovčin (1999) upozorňuje na fakt, že těžební činnost vtiskla krajině novou tvář a nadále výrazně ovlivňuje její využívání. V této lokalitě si dnes krajinný ráz blízký původní přírodě uchovává pouze úzký pás území při úpatí krušnohorského pohoří. Malou částí do jihovýchodní oblasti povodí Bouřlivce vstupuje i podcelek Milešovské středohoří, který společně s podcelkem Verneřické středohoří utváří celek České středohoří. Severní část podcelku Milešovské středohoří je charakteristická především výskytem rozsáhlých lávových příkrovů a strukturně denudačních

plošin. Nejmenší okrsek podcelku, okrajově spadající pod jižní část povodí Bouřlivce, se nazývá Teplické středohoří (Bína, Demek 2012).

4.3 Pedologické poměry

Rozmístění a formování odlišných typů půdního pokryvu ovlivňuje působení celé řady faktorů a půdotvorných procesů, mezi které řadíme matečnou horninu, klima, vegetaci, edafon, vodní režim a lidskou činnost. Reliéf, případně čas, řadí Pavlů (2018) mezi tzv. podmínky půdotvorného procesu, které pouze podmiňují vznik některého z typu půd, aktivně ji však na rozdíl od půdotvorných faktorů neformují. Na výsledných vlastnostech půdy má rozhodující vliv především skladba a zrnitostní složení výchozího půdotvorného substrátu (Vopravil 2010). Půda je schopna zadržet obrovské množství vody a s ohledem na její vlastnosti se tak významně podílet na odtokovém režimu krajiny. Pedologické poměry zájmového území jsou patrné z obrázku 5.

Ve středních a nižších polohách, v oblasti Mostecké pánve, je nejzastoupenějším půdním typem kambizem, resp. kambizem psefitická, tvořená z nezpevněných psefitických substrátů (písky a štěrkopísky). Kambizemě jsou obecně nejrozšířenějším půdním typem, který se vyvinul na téměř veškerých horninách skalního podkladu v celé České republice. Charakteristický je pro ně kambický hnědý horizont (Bv). Jejich výskyt je vázán většinou na členitý reliéf. V nížinách jsou zastoupeny málo, a to právě na píscích a štěrkopiscích (Mackovčín 1999; Němeček a kol. 2008). V jižní a střední části povodí Loučenského potoka se vyskytuje kambizem luvická oglejená a kambizem mezobazická, která místy přechází v rankerovou kambizem mezobazickou (ČGS 2020b).

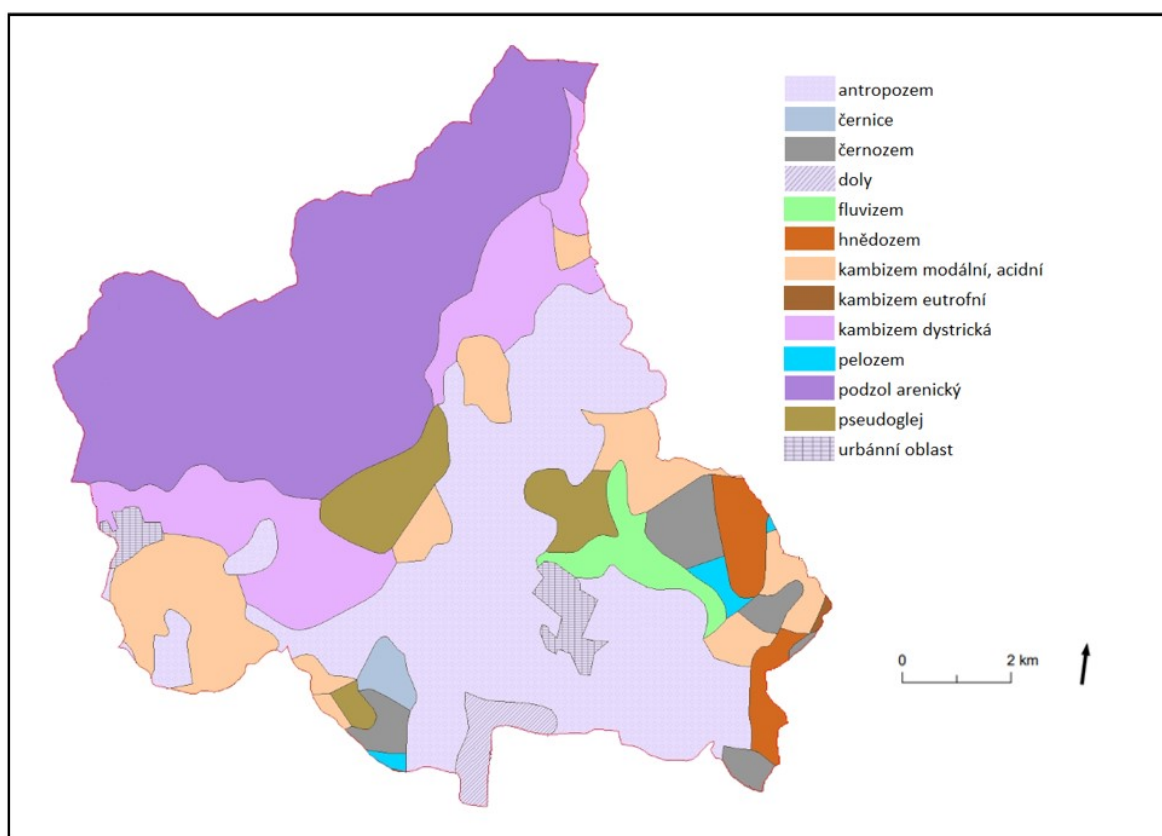
Se stoupající nadmořskou výškou kambizem přechází ve svažitéch horských podmínkách kolem 800 m n. m. v kryptopodzol modální a kryptopodzol rankerový. V nejvyšších horských polohách pak kryptopodzol přechází v pro tuto oblast typický podzol modální. Matečním substrátem obou půdních typů jsou zpravidla zvětraliny kyselých hornin (vyvřelin a metamorfik), ale jejich výskyt je znám i na píscích v nižších polohách (Vopravil 2010).

Na kambizem navazují pro pánve typické rozsáhlé oblasti tvořené modální pseudoglejí, které vznikají na nepropustném podloží slínových jílů a v místech se špatným odtokem. Střídající se období sucha a zamokření srážkovou vodou vyvolává redukční a difuzní procesy sloučenin manganu a železa. To se projevuje mimo jiné nápadným mramorovaným bělošedým zbarvením v ochuzeném půdním horizontu a rezivošedým zbarvením v obohaceném půdním horizontu.

V souvislosti s pestrá geologickou stavbou v jižní oblasti povodí Bouřlivce zde pozorujeme stejně rozmanité složení půd. Značnou část povodí zde tvoří úrodné hlubokohumózní černozemě s černickým horizontem (Ac), přesněji pak její subtypy černozem karbonátová s rezidui karbonátů

v horizontu Ac a černozem arenická, tvořená z lehčích substrátů. Dominantní půdní jednotkou této oblasti je rovněž antropozem vyskytující se v místech v minulosti probíhající povrchové těžby uhlí. Jedná se o půdu zcela uměle vytvořenou činností člověka ze substrátů získaných při těžební činnosti. Dále se v oblasti Mostecké pánve vyskytuje pararendzina pelická, černice modální a černozem luvická.

Na vodní toky jsou vázány nejčastěji výrazně vrstevnaté fluvizemě. V povodí Loučenského potoka a Bouřlivce se jedná konkrétně o fluvizem modální a fluvizem glejovou. První jmenovaný půdní subtyp fluvizemě vzniká v oblasti dočasně zaplavovaných niv potoků z povodňových sedimentů. Charakteristické je pro něj silné kolísání hladiny podzemní vody související s vodním režimem toku. Fluvizem glejová vzniká v nivní oblasti s trvale vysokou hladinou minerálně chudších podzemních vod. Ve vyšších polohách fluvizem přechází v hydromorfní glej fluvickou, vyvinutou z nivních sedimentů, na území alespoň v minulosti zaplavovaných vodou (Němeček a kol. 2008; Mackovčín 1999).



Obr. 5: Pedologická mapa zájmové oblasti
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČGS, ArcMap)

4.4 Klimatické poměry

Klimatické poměry v území jsou určeny polohou Ústeckého regionu v atlanticko-kontinentální pozici mírně zvlněného podnebného pásu, v oblasti převládajícího západního až severozápadního proudění vzduchových hmot a výrazné cyklonální činnosti, která zapříčiňuje značnou proměnlivost počasí. Vliv vzduchových hmot mírných šířek zde sice převládá po většinu roku, ale krátkodobě se zde projevuje i vliv chladných arktických vzduchových hmot ze severu, případně i vliv teplých subtropických vzduchových hmot z jihu (Mackovčín 1999).

Kromě zmíněného základního klimatického rámce regionu jsou klimatické poměry rovněž určeny jeho specifickými přírodními poměry a antropogenními zásahy. Z přírodních složek je v regionu výrazným klimatickým činitelem členitost terénu, veliká rozdílnost nadmořských výšek a charakter povrchu. Pásmo Krušných hor tak brání postupu západních frontálních systémů do vnitrozemí a na jejich S-V svazích můžeme pozorovat návětrný efekt. Oblast Mostecké pánve a Žatecka je tedy naopak situována ve srážkovém stínu. Tato oblast se tradičně řadí mezi nejteplejší a nejsušší oblasti v České republice. Z hlediska antropogenních zásahů nelze opomenout hospodářské aktivity, které na některých místech území výrazně zasahují do lokálních poměrů klimatu - např. tvar terénu podporující vznik, nebo zesilování inverzí teploty vzduchu v Mostecké pánvi (Mackovčín 1999; Růžičková 2006).

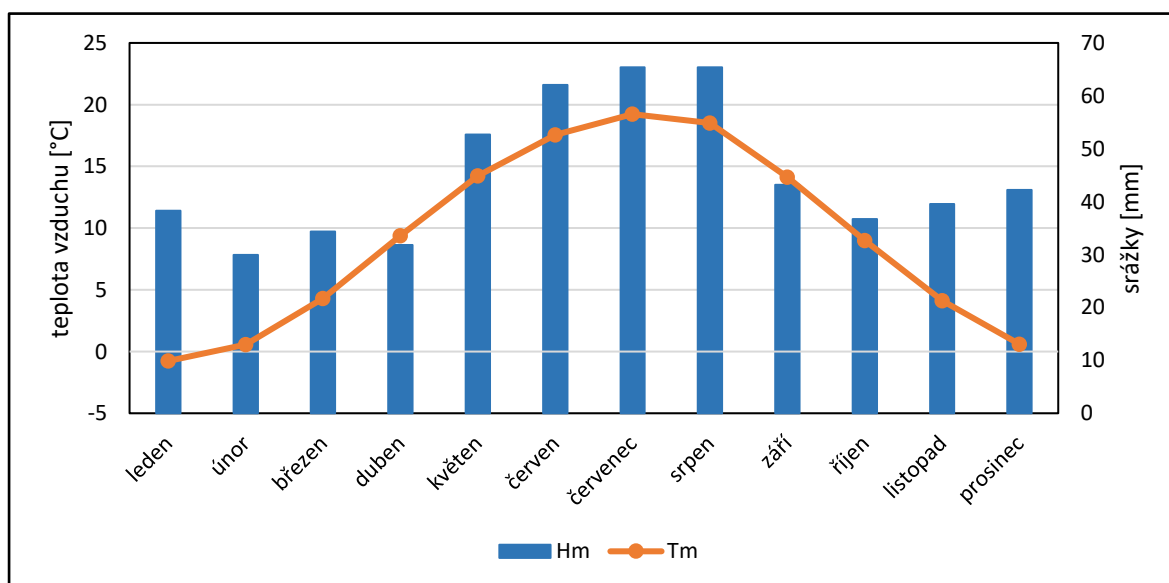
Z hlediska hodnocení klimatické regionalizace vzniklo v minulosti již několik klasifikací (např. Köppen, Geiger 1936; Moravec, Votýpka 1998) na základě kterých, můžeme území České republiky, stejně tak naše zájmové území, rozdělit do různých klimatických oblastí, vyjadřujících klimatické poměry s přihlédnutím k vazbám mezi určitými meteorologickými prvky, eventuálně k převládajícím typům cirkulace v atmosféře. Jednotlivé klasifikace se mezi sebou liší především využitím odlišného souboru meteorologických datových řad a využitím odlišné velikosti plochy území pro stanovení klimatických kritérií. Prozatím nejnovějším rozsáhlým dílem, které se zabývá klimatickou charakteristikou na území České republiky je Atlas podnebí Česka vydaný Českým hydrometeorologickým ústavem (Tolasz a kol. 2007).

Nejstarší, přesto v praxi stále hojně využívanou klimatickou regionalizací, je dílo klimatologa Quitta (1971) s názvem Klimatické oblasti Československa, podle které budeme hodnotit klimatické poměry v zájmovém území i v této práci. Quittova klasifikace (1971) vychází z dlouhodobých dat naměřených na klimatologických stanicích za období 1901-1950 a 1926-1950. Klasifikace je definována na základě kombinace hodnot 14 klimatických charakteristik (počet dní ledových, mrazových, letních, jasných, zamračených, se sněhovou pokrývkou atd.) na základě kterých následně rozlišujeme celkem 23 klimatických jednotek ve třech oblastech.

Celkem 7 jednotek v oblasti chladné (CH), 11 jednotek v oblasti mírně teplé (MT) a 5 jednotek v oblasti teplé (T).

Oblast zájmového území spadá do třech odlišných klimatických oblastí (CH7, MT4, MT9 a T2). Nejseverněji položená část povodí Loučenského potoka a Bouřlivce spadá do klimaticky chladné jednotky **CH7**, kterou Quitt (1971) charakterizuje velmi krátkým až krátkým létem, mírně chladným a vlhkým. Přejídné období je dlouhého trvání, následuje mírně chladné jaro a mírný podzim. Zima je zde dlouhá, mírná a mírně vlhká s dlouhou sněhovou pokrývkou. Nepatrně do zájmové oblasti zasahuje ze severu i klimatická jednotka **CH6**, která je charakteristická pro vyšší polohy. Tato jednotka se od jednotky CH7 liší vlhčím létem, chladnějším jarem a podzimem a delší, vlhčí a chladnější zimou.

S klesající nadmořskou výškou se dostáváme do mírně teplé klimatické jednotky **MT4**, která je charakterizována následovně – suché až mírně suché krátké léto, přejídné období krátké s mírným jarem a mírným podzimem. Zima je normálně dlouhá, suchá a mírně teplá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Klimatická jednotka **MT9** je charakteristická naopak teplým, suchým až mírně suchým dlouhým létem. Přejídné období je krátké s mírným až mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, zima je mírná, suchá a krátká s krátkým trváním sněhové pokrývky. Jižní část zájmových povodí v oblast Mostecké pánve spadá do teplé klimatické jednotky **T2** vyznačující se dlouhým, teplým a suchým létem, velmi krátkým přejídným obdobím, s mírně teplým až teplým jarem i podzimem a krátkou, mírně teplou, suchou až velmi suchou zimou (Quitt 1971). Podrobnější charakteristika jednotlivých klimatických oblastí je uvedena v tabulce 2. Datové řady vybraných meteorologických charakteristik s hodnocením trendu vývoje jsou zpracovány v kapitole 7.6.



Obr. 6: Klimadiagram srážek a teploty vzduchu z klimatické stanice Teplice z let 1961-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Chod měsíčních srážek a průměrné měsíční teploty vzduchu na klimatické stanici Teplice z let 1961-2020 vyjadřuje klimadiagram umístěný na předchozí straně (obr. 6). Nejvyšší průměrné dlouhodobé měsíční teploty vzduchu je dosahováno v červenci. Tento měsíc je rovněž považován za srážkově nejbohatší. Naopak nejméně srážek bylo z dlouhodobého hlediska zaznamenáno v únoru. Nejnižší průměrná měsíční teplota vzduchu byla na této stanici naměřena v lednu.

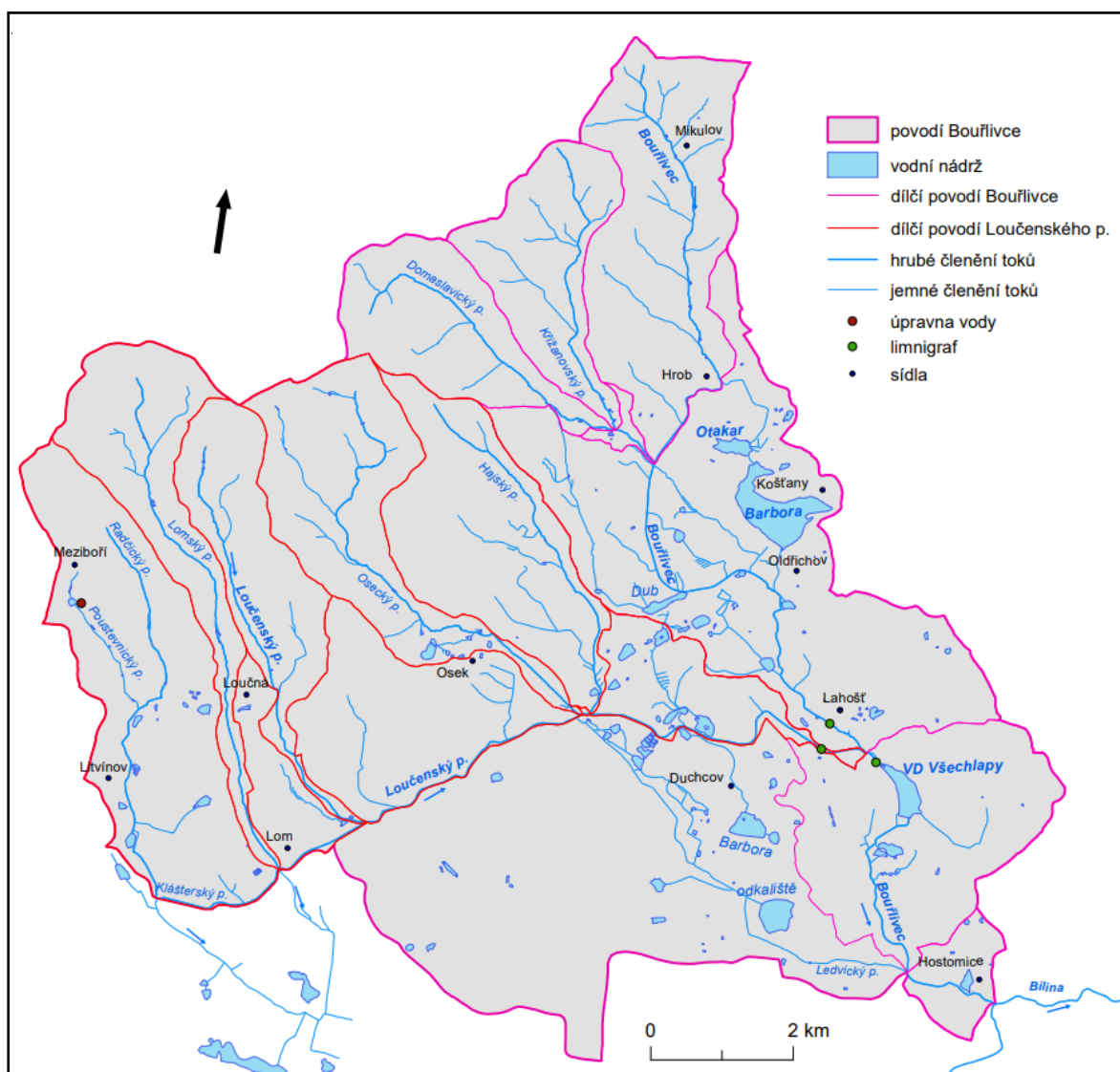
Tab. 2: Klimatické charakteristiky zájmové oblasti (Zdroj: vlastní zpracování; Quitt 1971)

klimatické charakteristiky	chladné oblasti		mírně teplé oblasti		teplá oblast
	CH6	CH7	MT4	MT9	T2
Počet letních dnů	10-30	10-30	20-30	40-50	50-60
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	120-140	140-160	140-160	140-160	160-170
Počet mrazivých dnů	140-160	140-160	110-130	110-130	100-110
Počet lednových dnů	60-70	50-60	40-50	30-40	30-40
Průměrná teplota v lednu	-4 až -5	-3 až -4	-2 až -3	-3 až -4	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
Průměrná teplota v dubnu	2-4	4-6	6-7	6-7	8-9
Průměrná teplota v říjnu	5-6	6-7	6-7	7-8	7-9
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	140-160	120-130	110-129	100-120	90-100
Srážkový úhrn ve vegetačním období	600-700	500-600	350-450	400-450	350-400
Srážkový úhrn v zimním období	400-500	350-400	250-300	250-300	200-300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	120-140	100-120	60-80	60-80	40-50
Počet zamračených dnů	150-160	150-160	150-160	120-150	120-140
Počet jasných dnů	40-50	40-50	40-50	40-50	40-50

4.5 Hydrologické a hydrografické poměry

Říční síť povodí Loučenského potoka a Bouřlivce je značně ovlivněna antropogenními zásahy do krajiny spojenými s těžbou hnědého uhlí v podkrušnohorské oblasti. Nedotčená koryta toků se dnes nacházejí pouze ve vrcholových a pramenných partiích obou povodí. Říční systém v oblasti výskytu uhelných slojí doznal značných změn. Došlo k vytvoření celé řady přeložek a přemodelování koryt toků. Z důvodu rekultivace krajiny postižené těžbou došlo rovněž k zaplavení starých, již vytěžených a dnes nevyužívaných těžebních malolomů (např. Otakar, Barbora).

Do povodí Bouřlivce náleží i oblast dolu Bílina a přilehlá výsypka Pokrok. Hydrologická charakteristika této oblasti je značně problematická a poměrně těžko uchopitelná. Podrobná charakteristika vodního režimu v oblasti dolu a výsypky však není předmětem této práce, která se zaměřuje především na povodí a vodní toky napájející VD Všechlapy. Hydrologické poměry v zájmové oblasti dokládá obrázek 7.



Obr. 7: Hydrologické poměry v zájmové oblasti
(Zdroj: vlastní zpracování dat DIBAVOD, ArcMap)

4.5.1 Povodí Loučenského potoka

Povodí Loučenského potoka (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-061) zaujímá plochu 47,32 km². Délka koryta Loučenského potoka po závěrový profil činí 14,68 km. Vodohospodářsky významný Loučenský potok pramení na svahu Krušných hor v nadmořské výšce 702 m jihozápadně od obce Dlouhá Louka pod Vlčí horou. Protéká Loučenským údolím a obcí Loučná. Východně od obce Lom se koryto toku nepřírozeně stáčí k severovýchodu. Uměle vybudovaným korytem následně Loučenský potok ústí do Klášterského potoka, který se však od soutoku dále označuje pouze jako potok Loučenský. Následně potok míjí ze severní strany výsypku Pokrok a nedaleké město Duchcov. V nadmořské výšce 213 m tvoří Loučenský potok levostranný přítok Bouřlivce, do kterého se vlévá

na jeho 5,4 ř. km mezi Lahošticí a vodní nádrží Všechny. Výškový rozdíl pramene a ústí Loučenského potoka do Bouřlivce činí 489 m (Křivánek a kol. 2014; DIBAVOD 2020).

Loučenský potok má z důvodu umělého zásahu do zdejší krajiny výrazně asymetrickou říční síť, která zahrnuje pouze významné levostranné přítoky (viz tabulka 4), mezi které řadíme po směru toku Osecký potok a Hajský potok. S Loučenským potokem je pomocí přeložky Klášterského potoka propojen rovněž od západní strany potok Radčický a Lomský. Zajímavostí této lokality a vůbec celého povodí Loučenského potoka je jeho nedávná minulost, kdy došlo k vytvoření zcela nové říční sítě pomocí již zmiňované Klášterské (Loučenské) přeložky tvořící jediný významný „pravostranný“ přítok Loučenského potoka. Tato nově vytvořená říční síť působí již na první pohled velice zvláštním a nevšedním dojmem. Než byl Loučenský potok přeložen severovýchodním směrem, směřovalo koryto toku od severozápadu k jihovýchodu přes dnešní území dolu Bílina. Z důvodu těžební činnosti v lomu Maxim Gorkij bylo koryto Loučenského potoka přeloženo za severní hranice území dolu. Následně došlo společně s Radčickým potokem, Lomským potokem a Oseckým potokem k propojení toku pomocí Klášterské (Loučenské) přeložky a následnému odvodu vody severovýchodním směrem do toku Bouřlivce. Původně tvořily Loučenský, Radčický i Lomský potok přítoky řeky Bíliny (Chlupáč, Štorch 1992). Dle Dvořáka (2008) se název přeložky v literatuře a mapových podkladech rozchází. Základní vodohospodářská mapa České republiky uvádí název přeložky jako Loučenský potok. Povodí Ohře naopak upřednostňuje název Klášterská přeložka Loučenského potoka.

Hlavním důvodem výstavby Klášterské (Loučenské) přeložky byla potřeba odvodu povrchové vody z oblasti určené k těžbě uhlí a nutnosti snížení hladiny podzemní vody. Přeložka byla budována v rozmezí několika navazujících etap. Jak informuje ve své práci Santnerová (2019), diskuse o výstavbě přeložky podle dochovaných archivních materiálů započaly ještě před rozhodnutím o těžební činnosti. K tomuto tvrzení dokládá rovněž mapový podklad z roku 1951, na kterém již bylo zakresleno nově přeložené koryto Loučenského potoka. O deset let později v roce 1961 byla výstavba Loučenské přeložky již dokončena. S výstavbou přeložky Klášterského potoka, propojující Radčický a Lomský potok s potokem Loučenským se začalo o několik let později s rozšiřující se těžbou na místě dnešního lomu Bílina. Rozsáhlé povodí v předpolí lomu si vyžádalo rovněž výstavbu celého systému vodohospodářských děl (Bučil 2002; Vlček 1984).

Radčický potok (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-052) pramení na jihovýchodním svahu vrchu Střelná v nadmořské výšce 628 m. Protéká Radčickým údolím a Horním Litvínovem, kde do Radčického potoka po jeho pravém břehu ústí potok Poustevnický, až do města Litvínov. Dále se koryto Radčického potoka stáčí k jihozápadu a protéká Loukou u Litvínova, kde napájí Plutovský rybník. Na jižním konci obce je Radčický potok sveden do přeložky Klášterského potoka v nadmořské výšce 280 m. Původně koryto Radčického potoka pokračovalo dále až do Mariánských

Radčic. Pod již zaniklou obcí Jenišův Újezd tvořil Radčický potok soutok s Lomským potokem, který se následně vléval do řeky Bíliny (Bučil 2002). Délka toku od pramene k soutoku s Lomským potokem je přibližně 9,43 km (včetně 1,44 km dlouhé přeložky), plocha povodí odvodňuje 12,55 km². Původní koryto potoka měřilo více než dvojnásobek současného koryta a to 15,6 km, plocha povodí odvodňovala až 47,6 km² (Vlček 1984).

Lomský potok (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-061/3) pramení na jihovýchodním svahu vrchu Loučná v nadmořské výšce 848 m. Potok protéká Lomským údolím a v severní části i jeho stejnojmennou přírodní památkou. Dále protéká obcí Loučná a pokračuje na jih obcí Lom, kde se tok napojuje zleva na přeložku Klášterský potok v nadmořské výšce 277 m. Původní koryto Lomského potoka pokračovalo dále na jih přes dnes již neexistující obec Libkovice a následně Lomský potok ústí do Radčického potoka. Délka Lomského potoka od pramene k soutoku s Klášterským potokem je dnes 7,7 km, plocha současného povodí odvodňuje 5,67 km². Původní délka koryta Lomského potoka byla 10,8 km a plocha povodí odvodňovala 9,9 km² (Vlček 1984).

Osecký potok (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-063) pramení na západním úbočí vrchu Stropník, východně od obce Dlouhá Louka, v nadmořské výšce 848 m. Protéká Skalním údolím, přírodní rezervací Vlčí důl, následně protéká obcí Hrad Osek na jejímž konci se tok stáčí k jihovýchodu do obce Osek, kterou protéká. O necelý jeden kilometr dále jihovýchodním směrem ústí Osecký potok pomocí uměle napřímeného koryta do Loučenského potoka, resp. do pokračující přeložky Klášterského (Loučenského) potoka v nadmořské výšce 225 m. Délka Oseckého potoka od pramene k soutoku s Loučenským potokem je 7,34 km, plocha povodí odvodňuje 7,16 km². Výškový rozdíl pramene a soutoku s Loučenským potokem činí 623 m. Jedná se o největší výškový rozdíl, který musí Osecký potok překonat, ze všech ostatních přítoků Loučenského potoka. Zajímavostí je, že tento zmíněný rozdíl je tvořen na poměrně krátké vzdálenosti, a to 6,2 km.

Hajský potok (hydro. pořadí povodí č. 1-14-01-065) pramení na východním úbočí vrchu Stropník v nadmořské výšce 797 m. Protéká Starým údolím a dále na jihovýchod do obce Háj u Duchcova, kterou protéká. Hajský potok má rozsáhlou síť bezejmenných, především pravostranných vodotečí. Délka Hajského potoka od pramene po soutok (235 m n. m.) s Loučenským potokem je 5,44 km, plocha povodí odvodňuje 7,51 km².

V povodí Loučenského potoka se nachází rovněž velké množství vodních ploch. Řada z nich slouží jako pozůstatky těžební činnosti k chovu ryb, případně k rekreačním účelům. V povodí Loučenského potoka nalezneme celkem 76 vodních ploch rozličné velikosti o celkové rozloze 36 ha. Největší je vodní plocha Leontýna (5 ha) a Kravský rybník (2,8 ha) nacházející se v jižní části povodí, severně nad Duchcovem. Z dalších rozlohou významných vodních ploch můžeme jmenovat například Salát, Bagr, Kaftan, Plutovský rybník, případně Osecký rybník (Křivánek a kol. 2014; DIBAVOD 2020).

Společně s charakteristikou povodí a říční sítě byl pomocí výpočtů vypracován přehled základních vybraných hydrografických charakteristik z datových vrstev DIBAVOD, Povodí Ohře s. p a DMR5G. K získání informací pro výpočty byl využit software ArcGIS Desktop verze 10.6.1, díky kterému došlo k usnadnění zejména počítání délky vodních toků, rozloh dílčích povodí a souvisejících rozvodnic. Mezi vybrané hydrografické ukazatele byly zařazeny následující charakteristiky: plocha povodí, délka páteřního toku, absolutní řádovost páteřního toku, Gravelliův koeficient (vyjadřuje míru kruhovitosti či protáhlosti povodí), koeficient protáhlosti povodí, charakteristika povodí (vyjadřuje tvar povodí, resp. zda je povodí protáhlého, vějířovitého či přechodného typu), uspořádání říční sítě, průměrná nadmořská výška, převýšení a průměrný sklon povodí (Langhammer 2007; Netopil a kol. 1984). Přehled hydrologických a hydrografických parametrů v povodí Loučenského potoka odhaluje tabulka 3 a 4.

*Tab. 3: Hydrologické a hydrografické charakteristiky povodí Loučenského potoka
(Zdroj: vlastní zpracování dat DIBAVOD 2020; ArcGIS)*

plocha povodí	47,32 km ²	charakteristika povodí	0,31
délka páteřního toku	14,68 km	uspořádání říční sítě	vějířovité
absolutní řádovost páteřního toku	4. řád	průměrná nadmořská výška	478 m n. m.
Gravelliův koeficient	1,48	převýšení	743 m n. m.
koeficient protáhlosti povodí	0,62	průměrný sklon povodí	108,01 ‰
koeficient souměrnosti povodí	0,36		

*Tab. 4: Charakteristiky přítoků Loučenského potoka
(Zdroj: vlastní zpracování, DIBAVOD 2020; ArcGIS)*

název toku	číslo hydrologického pořadí povodí	plocha povodí [km²]	délka toku [km]	nadmořská výška pramene toku [m n. m.]	nadmořská výška ústí toku [m n. m.]
Radčický potok	1-14-01-052	12,55	9,43	628	280
Lomský potok	1-14-01-061/3	5,67	7,7	848	277
Osecký potok	1-14-01-063	7,16	7,34	848	225
Hajský potok	1-14-01-065	7,51	5,44	797	235

4.5.2 Povodí Bouřlivce

Povodí Bouřlivce (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-056) se rozprostírá na ploše 115,39 km² (celková plocha povodí včetně povodí Loučenského potoka a oblast dolů Bílina a výsypky Pokrok, resp. včetně povodí 1-14-01-069). Celková délka koryta Bouřlivce po ústí do Bíliny je 18,65 km. Tento vodohospodářsky významný tok pramení na svazích Bouřňáku severozápadně od Mikulova v nadmořské výšce 830 m. Protéká Mikulovským údolím a dále směrem na jih až jihovýchod k Hrobu, kde se u jeho jihovýchodního okraje tok rozděluje a část vody tak napájí bývalé uhelné doly Otakar a rozlohou větší Barboru, kvůli kterým muselo být koryto Bouřlivce rovněž před plánovanou těžbou hnědého uhlí přeloženo (Křivánek a kol. 2014; ČÚZK 2020).

Mezi významné pravostranné přítoky Bouřlivce řadíme kromě zmíněného páteřního Loučenského potoka (viz kapitola 4.5.1) také Křižanovský potok, který se na severovýchodním okraji Křižanova stéká s potokem Domaslavickým. Tok Bouřlivce dále tvoří směrem k jihovýchodu vyklenutý široký oblouk. V nejzazší části, u rybníka Dub, se Bouřlivec stáčí a protéká přes golfové hřiště na západ k Oldřichovu, na jehož jihozápadním okraji ústí do Bouřlivce odtok z uměle vytvořených vodních ploch Otakar a Barbora, které jsou výsledkem rekultivace zdejší krajiny po těžební činnosti. Na pravém břehu míjí Bouřlivec obec Jeníkov a dále směrem na jihovýchod protéká obcí Lahošť. Následně zprava Bouřlivec přijímá vodu z Loučenského potoka, který je zároveň největším přítokem Bouřlivce a zanedlouho poté v nadmořské výšce 213 m vtéká Bouřlivec v ř. km 4,26 do vodního díla Všechlapy (Křivánek a kol. 2014; ČÚZK 2020). Levostranné přítoky Bouřlivce tvoří v menší míře pouze bezejmenné potůčky.

Hlavním účelem vodního díla Všechlapy je zajištění minimálního průtoku v Bouřlivci pod hrází. Neméně významné je rovněž zajištění celoročního a souvislého odběru vody pro nedalekou Elektrárnu Ledvice, včetně schopnosti zadržení havarijní rezervy v období odstávky Labského vodovodu a zajištění možnosti celoročního souvislého odběru vody pro blízkou sklárnu AGC Flat Glass Czech. Tato nevelká přehradní nádrž též pomocí malé vodní elektrárny zajišťuje i výrobu elektrické energie (Křivánek a kol. 2014; POH 2019). Mimo to nádrž slouží také ke snížení povodňových průtoků na Bouřlivci a ochraně území pod přehradní hrází před povodněmi, k rybolovu a jiným rekreačním účelům (POH 2019). Vybrané charakteristiky VD Všechlapy jsou k vidění v tabulce 5 na následující straně.

Tab. 5: Vybrané charakteristiky vodního díla Všechlapy (Zdroj: vlastní zpracování; POH 2019)

	maximální dlouhodobý možný odběr vody	minimální průtok pod hrází	neškodný průtok pod vodním dílem	celkový prostor nádrže	celková zatopená plocha
VD Všechlapy	45 l/s	10 l/s	12 m ³ /s	1,371 mil. m ³	35,03 ha

Křižanovský potok (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-057 až 1-14-01-59) pramení na východním svahu Bouřňáku poblíž Nového Města v nadmořské výšce 831 m. Dále teče směrem na jih až jihovýchod Křižanovským údolím až do Křižanova, kde do Křižanovského potoka v severovýchodní části obce ústí potok Domaslavický, který je zároveň největším přítokem Křižanovského potoka. Po necelém jednom kilometru se v nadmořské výšce 308 m Křižanovský potok vlévá do Bouřlivce. Délka toku od pramene po soutok je 5,26 km. Potok odvodňuje území o rozloze 5,05 km² (ČÚZK 2020).

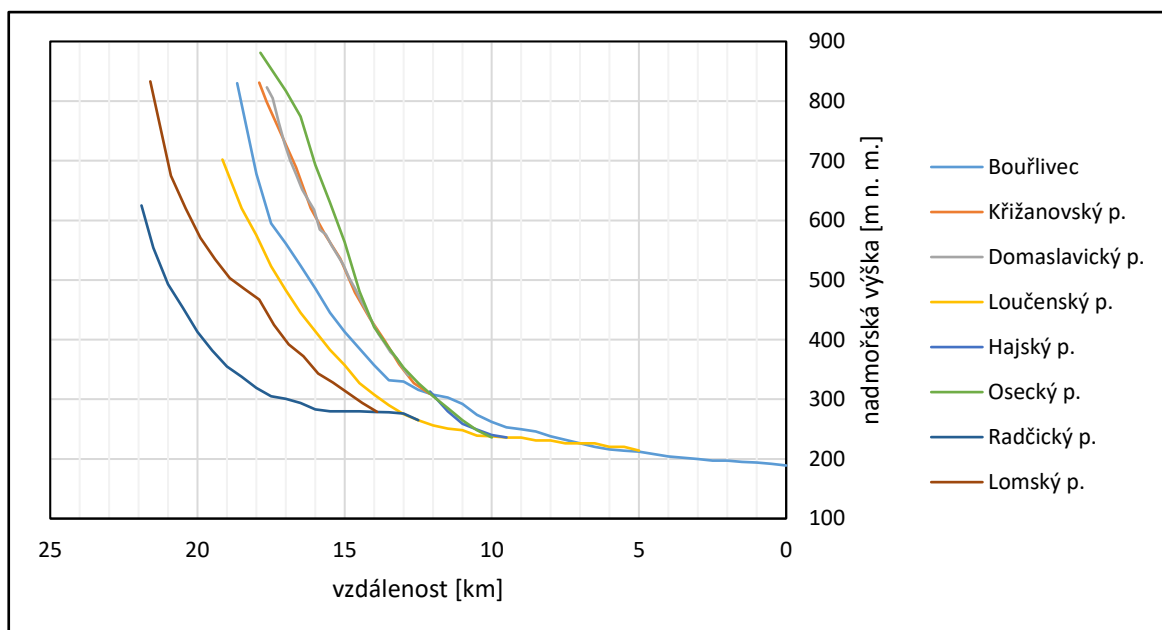
Domaslavický potok (hydrologické pořadí povodí č. 1-14-01-059) pramení v nadmořské výšce 826 m na svahu bezejmenného vrchu, který ze severu obtéká a následně protéká Domaslavickým údolím. Horní část toku teče na jižním okraji přírodní památky Domaslavické údolí. Střední část toku již přírodní památkou přímo protéká. V těchto místech do Domaslavického potoka ústí potok Slaniskový. Dolní část toku již protéká urbanizovaným územím obce Křižanov, kde rovněž na jeho severovýchodním okraji v nadmořské výšce 340 m vtéká do Bouřlivce. Domaslavický potok má délku 4,72 km a odvodňuje území o rozloze 4,91 km² (ČÚZK 2020).

Stejně jako v případě povodí Loučenského potoka byly vypočítány hydrologické a hydrografické charakteristiky i pro celé povodí Bouřlivce (včetně povodí Loučenského potoka). Přehled hydrologických a hydrografických parametrů v povodí Bouřlivce je zaznamenán v tabulce 6.

Tab. 6: Hydrologické a hydrografické charakteristiky povodí Bouřlivce (Zdroj: vlastní zpracování dat DIBAVOD, 2020; ArcGIS)

plocha povodí	115,39	charakteristika povodí	0,53
délka páteřního toku	18,65 km	uspořádání říční sítě	vějířovité
absolutní řádovost páteřního toku	3. řád	průměrná nadmořská výška	414 m n. m.
Gravelliův koeficient	1,51	převýšení	730 m n. m.
koeficient protáhlosti povodí	0,82	průměrný sklon povodí	67,93 ‰
koeficient souměrnosti povodí	0,39		

Pro lepší představu návaznosti a uspořádání toků byl sestrojen i rozvinutý podélný profil Bouřlivce a Loučenského potoka s přítoky, který představuje obrázek 8.



Obr. 8: Rozvinutý podélný profil Bouřlivce (Zdroj: vlastní zpracování, ArcGIS)

4.6 Hydrogeologické poměry

Povodí Bouřlivce a Loučenského potoka se nachází na pomezí tří hydrogeologických rajónů základní vrstvy – Mostecká pánev - severní část (2131), Teplický ryolit (6133) a Krystalinikum Krušných hor od Chomutovky po Moldavu (6131). Vrstva sedimentů mostecké pánve je od krystalinika izolována vrstvou kaolinicko-lateritických zvětralin. Oligocenní výplň mostecké pánve tvoří pískovce, písky a křemence s průlinovou i puklinovou propustností. Nepropustné vrstvy tvoří zejména miocenní jílovité horniny a uhelné sloje. Podzemní voda je zadržena lokálními průlinovými kolektory s napjatou hladinou. Vzhledem k litologii mostecké pánve je však jejich hydrologický význam minimální. Lokálním systémem oběhu podzemní vody je navíc poznamenán zdejší těžební činnost, která zapříčinila zejména výrazné zrychlení podzemního proudění vody (Bažant 2010; Schwarzová 2012).

Západní okraj teplického ryolitu spadá do oblasti povodí Bouřlivce. Teplický ryolit je z hydrogeologického hlediska podstatně zajímavější. Vyskytují se zde totiž termální vody, které měly vliv na rozvoj lázeňství v okolí měst Teplice a Duchcov. Nechvalně se do historie hydrogeologie vepsal průval termálních vod na dole Döllinger v roce 1879, což významně zasáhlo i zdejší lázeňství (Burda 2016). Strukturu teplického ryolitu tvoří oblast infiltrace, akumulace (průtoku) a vývěru.

Za hlavní oblast infiltrace mělkého i termálního oběhu vody se považují Krušné hory, za vedlejší oblast infiltrace teplicko-lahoštský hřbet. Oblast akumulace je situována mezi krušnohorským pánevním okrajem a teplicko-lahoštským hřbetem. Vývěr je pozorován na úpatí Krušných hor, jehož součástí je i Obří pramen. Část vody vyvěrá nekontrolovaně na území uhelných slojí a v oblasti západního a východního okraje teplického ryolitu (Blažková, Wojtaszeková 2007). V rámci teplického ryolitu lze rozlišit mělký a hlubinný oběh podzemní vody. Mělký oběh je vázán na svrchní útvary zóny povrchového zvětrávání a puklin. Zóna hlubšího oběhu je charakteristická rozpukanými horninami. Hloubka intenzivního oběhu je odhadována na 50-100 m v závislosti otevřenosti puklin (Burda 2016). Termální vody jsou vázány především na bazální polohu oligocenních pánví. Významný izolátor je tvořen miocenními nadložními jíly s propustností pod 10^{-8} l/s. Podle Burdy (2016) má Teplický ryolit specifické podmínky proudění podzemní vody, které se vyznačují extrémně proměnlivou propustností v závislosti na intenzitě výskytu tektonických poruch. Většinou propustnost teplického ryolitu zajišťují četné zlomy. Vydatnost mělkých zvodnělých vrstev s puklinovou propustností je z důvodu těžební činnosti obtížně oddělitelná od využitelné vydatnosti bazálních term. Mezi lety 2011-2015 bylo z Teplického ryolitu čerpáno průměrně 54,6 l/s. Transmisivita teplického ryolitu je střední.

Krystalinikum Krušných hor je tvořeno výhradně puklinovou propustností. Průlinová porozita se vyskytuje pouze v nejsvrchnější zóně zvětralin do hloubky maximálně 30-40 m. V této zóně je vyčleněn jediným regionálně rozšířeným kolektor nízké transmisivity. Pohyb podzemní vody pod přípovrchovou vrstvou je vázán především na žilné systémy, výrazná litologická rozhraní a tektonické zlomy (Dolistová 2007).

4.7 Biogeografické poměry

Na základě fytogeografického členění jsou v zájmovém území zastoupeny všechny tři fytogeografické oblasti, do kterých se dělí území České republiky. Nejvyšší partie území řadíme do fytogeografické oblasti nazývané oreofytikum (obvod České oreofytikum). Nejteplejší a nejsušší jižní část území spadá do oblasti zvané termofytikum (obvod České termofytikum). Oreofytikum je od termofytika odděleno v Podkrušnohorské pánvi sotva 3-4 km širokým pruhem mezofytika (obvod Českomoravské mezofytikum). Rozmanitost flóry je určena především na základě zdejších geologických, geomorfologických a klimatických faktorů (Mackovčín 1999).

Z hlediska biogeografického členění řadí Culek a kol. (2013) povodí Loučenského potoka a Bouřlivce do dvou bioregionů, a sice do Mosteckého a Krušnohorského bioregionu. Oba zmíněné bioregiony spadají rovněž do hercynské podprovincie. Mostecký bioregion patří k nejteplejším a nejsušším oblastem České republiky. V současnosti se zde z hlediska bioty vyskytují pro region

charakteristické velkoplošné antropocenózy s expanzivními ruderálními druhy. Pro tuto oblast typické jsou rovněž zbytky stepní bioty. Flóra je zastoupena submediteránními aponticko-panonskými prvky rostlin s řadou mezních prvků. V minulosti bychom na území dnešního mosteckého bioregionu našli rozsáhlé mokřady a jezera. Dnes je tato část krajiny charakteristická spíše mohutnou antropogenní přestavbou reliéfu a s ní související velkoplošnou změnou bioty. Potenciální přirozenou vegetaci tvoří teplomilné doubravy (*Quercion petraeae*), bažinné olšiny (*Alnion glutinosae*) a dubohabřiny (*Melampyro nemorosi-Carpinetum betuli*). Lidské zásahy do krajiny pocítila rovněž i fauna bioregionu, která je silně ochuzena z důvodu nedostatku lesních společenstev a zmiňovaných velkoplošných antropogenních zásahů. Vůči Krušnohorskému regionu je pozorován silný kontrast nejen z geomorfologického hlediska, ale i z hlediska flóry mezi oběma bioregiony. Odlišnost je podmíněna především absencí montánní vegetace horských smrčín a bučin.

V krušnohorském bioregionu nalezneme rozpětí sedmi vegetačních stupňů (od bukovo-dubového až po smrkový vegetační stupeň). Od 60. let 20. století se nejen krušnohorské lesy potýkaly s následky nadměrných imisí ze spalování uhlí s následnou destrukcí převážně monokulturních smrkových porostů hmyzími škůdci. Vzniklé rozsáhlé holiny byly po úhynu stromového porostu nově nahrazeny širokým spektrem dřevin (borovice lesní, borovice kleč, jeřáb, bříza, smrk pichlavý). Nižším částem svahů potenciálně dominují acidofilní doubravy (*Genisto germanicae-Quercion*). Potenciální vegetací vyšších částí svahů jsou květnaté a acidofilní bučiny. Na úpatí se ojediněle vyskytovaly i dubohabřiny (*Melampyro nemorosi-Carpinetum betuli*). V okolí vodních toků jsou vyvinuty zejména olšiny. Květena bioregionu je uniformní s převahou středoevropské lesní flóry vyšších a středních poloh. Mezi charakteristické rostliny řadíme například zimolez černý (*Lonicera nigra*), třtinu chloupkatou (*Calamagrostis villosa*), či věsenku nachovou (*Prenanthes purpurea*). Stejně jako v oblasti Mosteckého bioregionu byla původní hercynská horská fauna silně devastována a pozměněna antropogenními zásahy. Vývoj fauny bioregionu je spojen s mizením lesních společenstev a návratem společenstev odlesněných ploch, ke kterým patří například tetřívka obecná, nebo hraboš mokřadní (Culek a kol. 2013).

Změnou využitelnosti krajiny povodí Loučenského potoka a Bouřlivce mezi lety 1990-2018 se ve své rešeršní části věnuje mimo jiné práce Jonáše (2020). Zásadní změnou využívání krajiny v zájmových povodích od 90. let je dle zjištění autora zvýšení těžební činnosti o více než 50 %. Celkové zalesnění území pokleslo v důsledku úbytku jehličnatých a smíšených lesů a nízkého porostu v lese během let 1990-2018 z 50,2 % na 48,9 %. Naopak nárůst zaznamenaly listnaté lesy, a to o více než 17 %. Z důvodu zvýšené deforestrace lesů, z velké části ve vyšších nadmořských výškách, se zvýšila rozloha luk a pastvin do roku 2018 až o 78 %.

5 Sucho

Tato kapitola je úvodem do problematiky sucha s důrazem na sucho hydrologické. Jsou zde nastíněny náhledy několika autorů týkající se složitosti vymezení obecného pojmu *sucho*. Dále se zde uvažují jednotlivé typy sucha s možnými přírodními i antropogenními příčinami a jejich dopady na vybrané typy krajinné sféry. Zmíněny jsou i vybrané ukazatele (indexy) hydrologického sucha. Za neméně důležitou část této kapitoly lze považovat snahu o ucelený vhled do problematiky hydrologického sucha v České republice v letech 2014-2020.

Sucho je velice komplexní jev. Lze ho studovat a hodnotit z prostorového a časového hlediska (Blinka 2009). Oproti ostatním přírodním rizikům (např. povodně, tropické cyklóny atd.) se vyznačuje pomalým vznikem a následným dlouhotrvajícím vývojem obvykle v řádu měsíců, ale i jednotek let (Rossi 2003). Thornthwaite (1947) rozlišil sucho podle délky trvání na *stálé* (způsobující ariditu), *sezonní* (nastávající periodicky v období sucha) a *nahodilé* (charakteristické nepravidelně se vyskytujícími epizodami sucha). Nebezpečnost tohoto přírodního jevu je spjata především s kumulujícím se charakterem efektů působení sucha, během kterého dochází ke zvyšování velikosti intenzity sucha s každým dalším dnem trvání (Blinka 2005). Největší nebezpečí představují víceletá období sucha, kterých jsme byli po několik posledních let svědky. Právě takto dlouhá období s nedostatkem vody způsobují rozsáhlé škody a ztráty nejen v oblasti národního hospodářství (Hladný 2009), ale mají rovněž zásadní dopad na ekosystém zasažených oblastí (Janský 2019).

Stejně jako stanovení definice sucha je rovněž velmi obtížné vymezení začátku a konce trvání suchého období. Území, které sucho většinou postihne, bývá mnohem rozsáhlejší, než je tomu u jiných přírodních katastrof (Wilhite, Vanyarkho 2000). Hladný (2009) dále polemizuje nad obtížností dlouhodobé předpovědi sucha. Výstižně tak sucho nazývá „plíživým jevem“, jelikož příchod suchého období bývá zprvu nepozorován. Velkou úlohu při predikci sucha sehrávají především dlouhodobá pozorování, pomocí kterých můžeme stanovit normál srážek a teploty vzduchu pro určitá období. Obecně lze říci, že míra úspěšnosti predikce sucha tak závisí na předpovědi srážkových úhrnů a teploty vzduchu (Blinka 2009).

Hlavní příčinu sucha Treml (2011) a rovněž i Brázdil, Trnka a kol. (2015) spatřují v synoptické situaci s převládajícím obdobím s nedostatkem srážek. K prohloubení důsledku jevu pak může významně přispět především interakce vyšší teploty vzduchu, nízké relativní vlhkosti vzduchu, nebo intenzivní sluneční záření, které nepomáhá k vyšší rychlosti evapotranspirace (Treml 2011; Allen a kol. 1998). V této souvislosti Rožnovský (2014) doporučuje pro zjištění sucha v krajině využívat

ukazatel vláhové bilance, který vypočítáme na základě rozdílů mezi úhrnem srážek a potenciální evapotranspirací, nikoliv jako pouhé klimatologické hodnocení srážkových úhrnů.

5.1 Problematika definice sucha

Definovat sucho není ani zdaleka tak jednoduché, jak by se mohlo na první pohled zdát. Ačkoliv tento pojem v běžném životě v posledních několika letech slyšíme ze všech možných stran, na jeho jednotné definici se neshodne ani řada českých a zahraničních autorů odborných knih a článků. Podle Blinky (2005) i Lloyd-Hudgese (2014) neexistuje žádná univerzální a všeobecně přijímaná definice sucha, a to zvláště s ohledem na různé složky a faktory krajinné sféry, které svým působením sucho ovlivňuje.

Brázdil, Trnka a kol. (2015) definují sucho ve velmi obecné rovině jako „zápornou odchylku vodní bilance od klimatického normálu v dané oblasti během určitého časového intervalu“. Hladný a Kakos (2006) využívají v zásadě stejnou definici sucha, ke které navíc řadí také nedostatek vody v korytech toků a vodních nádržích.

Dle National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) je sucho definováno nedostatkem srážek po delší časové období. NOAA (2018) dále uvádí, že sucho je zcela normální, opakující se projev klimatu, který se vyskytuje po celém světě, a to prakticky ve všech klimatických pásmech. V jednotlivých klimatických pásmech se však charakteristiky sucha liší podle klimatu dané oblasti. NOAA (2018) rovněž poukazuje na lidskou činnost (např. nadbytečné užívání vodních zdrojů), která může zhoršit dopady sucha v celém zasaženém regionu. Podle Van Loon a kol. (2016) je nutné sucho definovat a zkoumat především v přímém vztahu s lidskou činností a zásahy do přírody v současném, antropogenně upraveném světě (autoři používají pojem Antropocén).

Tallaksen a Van Lanen (2004) definují sucho jako dlouhotrvající období nedostatečné dostupnosti vody. Sucho nazývají opakujícím se celosvětovým fenoménem s vlastními prostorovými a časovými charakteristikami, které se v jednotlivých regionech významně liší.

Van Loon (2015) také upozorňuje na nesprávné užívání a možnou záměnu pojmů „sucho“ a „nedostatek vody“. Tyto pojmy totiž odkazují na zcela odlišné jevy. Sucho je z hlediska své podstaty jev přirozený, nedostatek vody je naopak jev vyvolaný uměle. Nedostatek vody dle autorky Van Loon vyjadřuje využívání vodních zdrojů vedoucí k nerovnováze mezi dostupností (nabídkou) a poptávkou po vodě, kdy poptávka dlouhodobě převyšuje vodní zdroje využitelné za udržitelných podmínek. Dle definice se tedy zaměřujeme pouze na účinek, který náleží lidské činnosti na hydrologický systém.

V této souvislosti je rovněž potřeba významového odlišení pojmu aridita a sucho. Z časového a prostorového měřítka je za aridní považována oblast se stálým rysem suchého klimatu

související s nízkými průměrnými srážkovými úhrny. V aridní oblasti je nedostatek vody zcela běžným jevem. Pojmem sucho naopak označujeme pouze přechodný stav nedostatku vody (Hladný 2009).

5.2 Typy sucha

Na základě více než 150 publikovaných definic sucha, rozlišují autoři Wilhite a Glantz (1985) sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické. První tři typy sucha se zabývají měřením sucha z pohledu fyzikálních jevů. Poslední typ sucha vnímají autoři z pohledu sledování účinků a dopadů na socioekonomický systém služeb. Stejně základní dělení sucha využívá celá řada zahraničních i českých autorů a institucí například Panagoulia a Dimou (1998), Němec a Kopp (2009), Rožnovský (2014), Van Loon (2015), Mukherjee, Mishra a Trenberth (2018), Myungsu a kol. (2018), NDMC (2020) aj.

Meteorologické sucho (příp. klimatologické sucho) můžeme definovat na základě odchylky úhrnu srážek od dlouhodobého průměru. Za suché období je následně označena řada dnů s úhrnem srážek pod předem stanovenou limitní hodnotou. Při hodnocení meteorologického sucha přihlížíme rovněž k teplotě vzduchu a její souvislosti s evapotranspirací. Dále může být hodnocena i relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru, sluneční záření a další veličiny zesilující evapotranspiraci (Hladný 2009). Z hlediska závislosti srážek na místním klimatu v dané oblasti Wilhite (2000) upozorňuje na nutnost definovat meteorologické sucho pro každý specifický region světa zvlášť.

Zemědělské sucho (příp. agronomické sucho) je obvykle pozorováno brzy po nástupu sucha meteorologického. Zemědělské sucho lze definovat dlouhodobým nedostatkovým množstvím půdní vlhkosti, způsobeným nepostačujícím množstvím srážkových úhrnů, které by zajistilo pokrytí potřeb zemědělské produkce, resp. růst a vývoj rostlin, v daném časovém období (Žalud, Trnka, Hlavinka a kol. 2020; Hladný 2009). Vliv na intenzitu projevu zemědělského sucha má podle Hladného (2009) i úroveň zemědělské techniky a způsob hospodaření na zemědělské půdě, které může zpětně ovlivňovat velikost výparu a vlhkostní i teplotní poměry v oblasti (MZ ČR 2017), ale i erozi půdy (Hladík a kol. 2015). Dle Olesena, Trnky, Kersebauma a kol. (2011) je zemědělství ekonomickým sektorem, kterého se sucho dotkne ze všech nejdříve. Rožnovský (2014) rozlišuje navíc sucho půdní a fyziologické, které se zaměřuje na nedostatek vláhy z hlediska potřeb jednotlivých druhů rostlin.

Hydrologické sucho pro povrchové toky definuje Rožnovský (2014) na základě určitého počtu za sebou jdoucích dní, měsíců, případně roků, s výskytem relativně nízkých průtoků vztažených k dlouhodobému měsíčnímu, nebo ročnímu normálu. Obdobná kritéria pro hodnocení hydrologického sucha lze využít i pro stavy hladiny podzemní vody (Soukalová, Muzikář 2015)

nebo vydatnosti pramenů. Hydrologické sucho mnohdy nastává i v období, kdy meteorologické sucho již dávno skončilo. Děje se tak z důvodu retardačních faktorů působících na pohyby vody v krajině. Rožnovský (2014) dále konstatuje, že sucho hydrologické se při suchu meteorologickém naopak nemusí vůbec projevit.

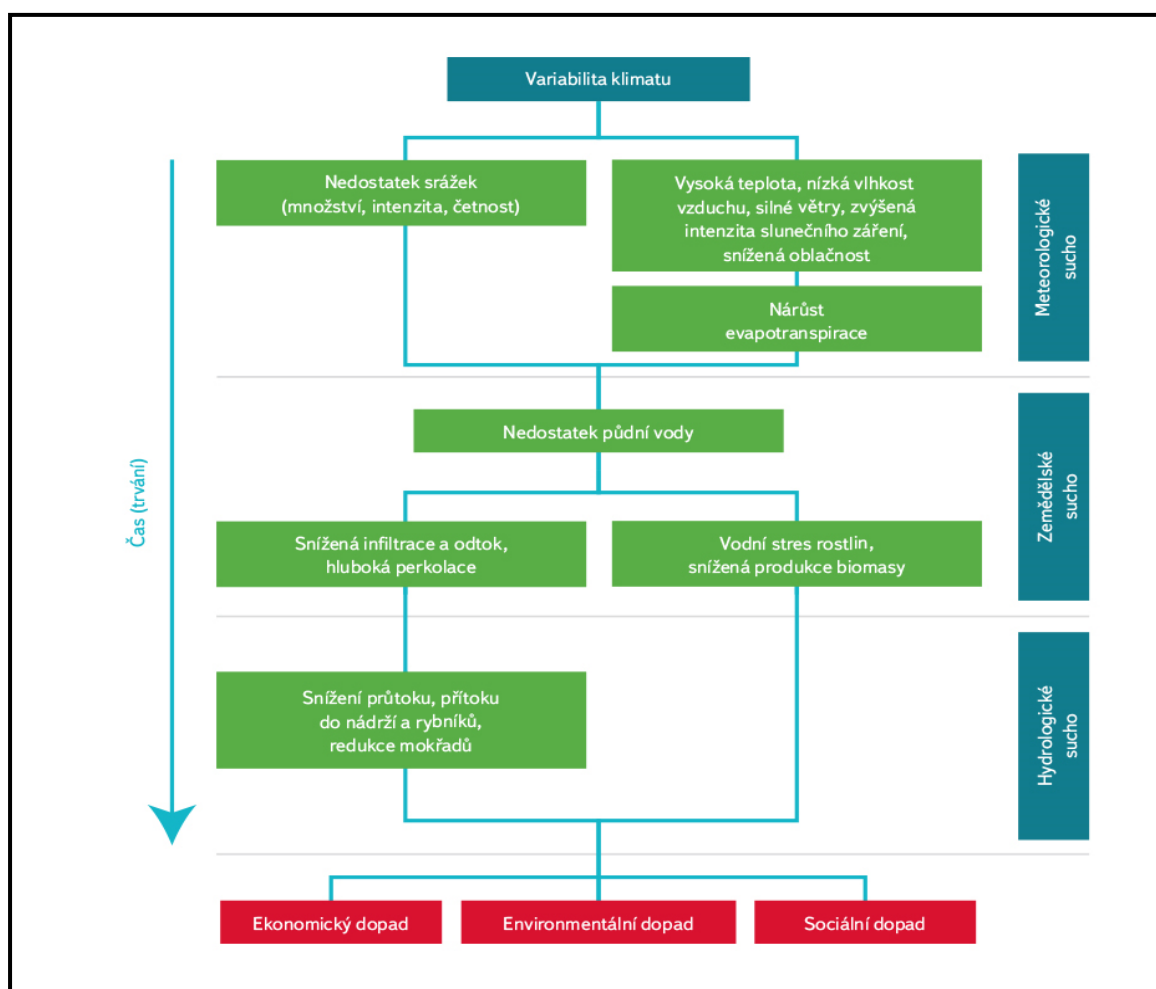
Rychlost nástupu hydrologického sucha závisí na několika faktorech, které se pojí především s pedologickými a geomorfologickými charakteristikami mající značný vliv na samotnou retenční kapacitu oblasti (Tallaksen, Van Lanen 2004). V reakci na deficit srážek se sucho projevuje nejdříve v oblastech s nízkými srážkovými úhrny a vysokou mírou evapotranspirace, v kombinaci s malou zásobou podzemní vody a příliš rychlým poklesem hladiny podzemního kolektoru. Takto definované oblasti lze rovněž z hlediska zranitelnosti podzemních vod v suchém období klasifikovat jako nejvíce ohrožené. Se značným zpožděním reagují na deficit srážek oblasti s poměrně velkou zásobou podzemní vody (na území České republiky např. Třeboňská a Českobudějovická hydrogeologická pánev) (MZ ČR 2017). Vzhledem k tomu, že se naše zájmové území z většiny nachází v oblasti s převažujícími vyvřelými a metamorfovanými horninami, jsou dle Broži (2019) v takových podmínkách podmínky dotace vodního toku vodou z podzemí značně časově omezené. Hydrologické sucho můžeme pozorovat také v zimním období, kdy dochází vlivem nízkých teplot k akumulaci srážek ve sněhové pokrývce (Novický a kol. 2010). Nedostatek vody v kapalném skupenství se následně může negativně projevit na velikosti průtoku ve vodních tocích a zásobách podzemních vod i v zimních měsících (Estrela a kol. 2001).

Van Loon (2015) klasifikovala hydrologické sucho na základě příčinných faktorů a procesů do šesti odlišných kategorií. Stejnou klasifikaci využívá ve své studii zaměřené na regionalizaci území České republiky dle výskytu hydrologického sucha i Vizina, Hanel a Vlnas (2016). Dle této klasifikace dělí autoři Vizina, Hanel a Vlnas (2016) hydrologické sucho na:

- sucho způsobené deficitem srážek v kapalném stavu,
- sucho v období smíšených srážek,
- sucho přechodného období (v ČR se nevyskytuje),
- sucho v období zmrzlého sněhu
- sucho v období tání
- smíšené sucho.

Při definování **socioekonomického sucha** se zabýváme především dopadem souhrnných následků ostatních typů sucha (meteorologického, zemědělského, hydrologického) na společnost a s ní související všestranné hospodářské aktivity. Dle Hladného (2009) počátek socioekonomického sucha nastává ve chvíli, kdy se nedostatek vodních zdrojů začne dotýkat lidské společnosti, případně chodu některého s hospodářských odvětví, které je tak nedostatkem vody narušeno.

Vzájemný vztah základních typů sucha v jednotlivých fázích hydrologického cyklu je ukázán na obrázku 9. Primární formou suchého období je sucho meteorologické, projevující se deficitem srážek, vysokou teplotou vzduchu, nízkou vlhkostí vzduchu, silnými větry, případně zvýšenou intenzitou slunečního záření. Důsledkem takto působících projevů dochází k nárůstu evapotranspirace. Na základě přetrvávajících nepříznivých srážkových podmínek na sucho meteorologické navazuje sucho zemědělské, které závisí zpravidla na typu a struktuře půdy a druhu pěstovaných plodin. Nedostatek půdní vlhkosti zapříčiňuje sníženou infiltraci a odtok. U rostlin dochází ke snížení produkce biomasy způsobené vodním stresem. V důsledku retardačních faktorů se sucho hydrologické obvykle ukazuje s určitým zpožděním. Přetrvávající nedostatek srážek, zvýšená evapotranspirace, nebo nadměrné čerpání podzemní vody dále vede ke snížení průtoku v tocích, snížení přítoků do vodních nádrží, případně k redukci mokřadů (Vizina a kol. 2018). Sucho socioekonomické nastává ve chvíli, kdy se nedostatek vody začne dotýkat společnosti. Může se tak objevit v jakékoliv fázi hydrologického cyklu (Lake 2008).



Obr. 9: Sucho v jednotlivých částech hydrologického cyklu
(Zdroj: převzato od Viziny a kol. 2018)

5.3 Příčiny sucha

Z pohledu meteorologie je sucho výsledkem synergického působení celé řady faktorů projevující se abnormálním charakterem atmosférické cirkulace s převládajícími procesy subsidence v oblastech vysokého tlaku vzduchu. Tyto procesy následně zabraňují výstupným pohybům vzduchových mas a tvorbě oblaků. Následkem je vyšší teplota vzduchu, nižší relativní vlhkost vzduchu a nižší množství spadlých srážek v takto ovlivněné oblasti (Blinka 2009). Další činitelé ovlivňující vznik a intenzitu sucha závisí především na podmínkách dané lokality, kterými mohou být nadmořská výška, druhová skladba vegetačního krytu, bariéra v podobě pohoří, případně hydrogeologické poměry v oblasti. Sucho nevzniká pouze za pomoci přírodních faktorů. Velkou měrou se na rozvoji a intenzitě sucha podílí lidská činnost (Estrela a kol. 2001; Lake 2008). Příčiny sucha tak můžeme jednoduše rozdělit do dvou základních kategorií na sucho způsobené přírodními faktory a sucho způsobené faktorem lidským. Podle International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019) však nelze jednoznačně oddělit fyzickogeografické a antropogenní faktory z důvodu jejich synergického působení.

5.3.1 Fyzickogeografické faktory

Hlavní příčinou počátku sucha je nedostatečné množství atmosférických srážek, které není schopno doplnit zásoby povrchové, půdní a podzemní vody a zajistit tak vyrovnaný chod hydrologického cyklu. Sucho tedy nastává za předpokladu převažující evapotranspirace nad množstvím spadlých atmosférických srážek na zemský povrch. Příčina sucha nesouvisí pouze s množstvím srážek, důležitá je rovněž jejich časová variabilita, intenzita i jejich plošné rozložení (Estrela a kol. 2001).

Dalším významným činitelem podílejícím se na vzniku a rozvoji sucha je evapotranspirace. Evapotranspirace se dělí na celkový výpar z vegetace (transpirace) a výpar z ostatních povrchů (evaporace) za určité bilancované období. Rozeznáváme evapotranspiraci aktuální, potenciální a referenční (Duffková 2003). Míra intenzity evapotranspirace je ovlivněna především teplotou vzduchu, vlhkostí vzduchu, rychlostí větru, oblačností, vegetačním krytem a počtem hodin slunečního svitu. Při určení míry evapotranspirace nelze opomenout ani vodní kapacitu půdy a schopnost retence, která je klíčovým faktorem celého procesu (Tallaksen, Van Lanen 2004). Zdravá půda² dokáže v povrchové vrstvě o mocnosti 1 m na ploše 1 km² v průměru zadržet až 300 000 m³ vody, což odpovídá tři sta litrům na metr čtvereční (Vopravil, Batysta 2016; Čáp 2018).

² Zdravou neboli kvalitní půdu lze obecně definovat jako ekosystém, který neztratil svoji biologickou a ekologickou funkci (Lehman a kol. 2015). Dle Drlíkové (2015) byl tento pojem zaveden za účelem popisu negativních dopadů (zhutnění, chemická kontaminace, eroze aj.) projevujících se zhoršením kvality půdy.

Zásadní vliv na vývoj sucha má i přirozená kapacita povodí, která uvádí schopnost povodí vodu zachytit a následně i zadržet. Přirozenou kapacitu povodí určují hydrogeologické podmínky v oblasti. Na základě této skutečnosti Estrela a kol. (2001) dále uvádí, že povodí s podobnými geologickými vlastnostmi reagují na příčiny způsobující sucho obdobně. Důležitou roli hraje i podoba, resp. skupenství vody, ve kterém se voda v povodí nachází. Povodí do jisté míry před vznikem sucha chrání útvary přirozené akumulace vody v podobě mokřadů, jezer a bažin. Na deficit atmosférických srážek naopak velmi rychle reagují povodí s hustou říční sítí a mělkými zvodněmi.

5.3.2 Antropogenní faktory

Povodí bez antropogenního ovlivnění bychom v dnešním světě hledali velice těžko. Důsledky lidské činnosti můžeme pozorovat prakticky v každém větším i menším povodí. Antropogenní vlivy na klima, ale i charakter využívání krajiny hraje v souvislosti se suchem významnou roli.

Podle páté hodnotící zprávy International Panel of Climate Change (IPCC) vzrostla celosvětově teplota vzduchu mezi lety 1880 až 2012 lineárně o 0,85 °C (regionálně pak v rozmezí 0,65 až 1,06 °C). Na území České republiky byla zaznamenána změna průměrné teploty vzduchu v rozsahu 0,8 až 1,1 °C. Každých deset let, počínaje rokem 1961, se zvyšuje na území ČR průměrná roční teplota vzduchu v průměru přibližně o 0,3 °C (letní teploty téměř o 0,4 °C) (Holtanová a kol. 2010). Predikce modelu ALADIN-CLIMATE/CZ hovoří o zvýšení průměrné roční teploty vzduchu do roku 2030 na území ČR přibližně o 1 °C oproti současné průměrné roční teplotě vzduchu. Příčinou klimatické změny je s největší pravděpodobností zesilování přirozeného skleníkového efektu působením lidské činnosti a nadměrné produkce antropogenních emisí skleníkových plynů (MŽP 2015). Se zvyšující se teplotou vzduchu roste rovněž podíl evapotranspirace která, jak již bylo popsáno výše, velice ovlivňuje vznik a vývoj sucha (Hladný 2009).

Se zvyšujícími se nároky lidské společnosti na vodní zdroje se mnoho regionů po celém světě potýká s problémy nedostatečného množství vody, které by pokrylo jejich celkovou potřebu. Spotřeba vody v průmyslu, zemědělství, ale i pro běžnou denní potřebu ve světě neustále stoupá. Tím se vytváří značný nátlak na samotné vodní zdroje, a to především na schopnost jejich dostatečného doplnění (Estrela a kol. 2001). Jedním z největších spotřebitelů sladké vody je zemědělství. Podle European Environment Agency (EEA) (2019) třetina spotřeby vody v Evropě připadá na zemědělskou činnost. Do roku 2050 předpokládá Boretti a Rosa (2019) zvýšení celosvětové poptávky po vodě napříč všemi sektory o 20 až 30 %. V zemědělství autoři Boretti a Rosa (2019) předpokládají navýšení celosvětové poptávky do roku 2025 až o 60 %.

Do kategorie antropogenních faktorů spadá i hydrologické sucho, které může nastat při nadměrném čerpání vody podzemní. V krajním případě i trvalé snížení hladiny podzemní vody je

kromě účinků odběrů podzemních vod způsobeno také například odvodňováním zvodnělých ložisek, trvalým snižováním hladiny pod základy staveb, případně jako vedlejší následek sanačních prací (Soukalová, Muzikář 2015). Dle Tallaksena a Van Lanena (2004) může snížení hladiny podzemní vody přerušit kontakt mezi nasycenou zónou hydrogeologického prostředí a povrchovým tokem. V reakci na to může dojít k vysychání zejména pramenné oblasti toku bez možnosti nadlepšení průtoku v toku pomocí vody podzemní.

Dalším antropogenním faktorem ovlivňujícím vznik a vývoj sucha je změna využití krajiny a krajinného pokryvu. V posledních desítkách let jsme svědky výrazných zásahů do krajiny spojených především s rozvojem urbanizace. Právě tvorba nepropustných povrchů znemožňujících infiltraci má za následek vzrůstu povrchového odtoku a jeho rychlosti (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Náchylnost k hydrologickému suchu v souvislosti s využitím krajiny představuje rovněž odstranění vegetace, zejména pak kácení lesního porostu, který je schopen zadržovat značné množství vody oproti ostatním typům vegetace. Studie Yang a kol. (2018), zaměřující se na změnu retenčních vlastností povodí, prokázala jasnou souvislost změn retence povodí v důsledku změn fyziologických vlastností rostlin. Podle Tallaksena a Van Lanena (2004) dochází vlivem kácení lesního porostu ke snížení retenční kapacity lesní půdy. Tesař, Šír a Dvořák (2004) polemizují ve své studii nad pravdivostí tohoto tvrzení, neboť podle autorů není věcný podklad názoru zcela jasný. Nejen studie z posledních let naznačují, že rozhodující roli při srážkoodtokových procesech hraje právě lesní půda, která díky své struktuře dokáže pojmout za ideálních podmínek 5-9krát více vody, než půda zemědělská (Kračmer a kol. 2003). V případě větších lesních celků dle Švihli (2001) dochází ke zvýšenému odtoku podpovrchových a podzemních vod. Dochází tak ke stabilizaci minimálního odtoku v řečišti.

K ovlivnění hydrologického režimu a výraznému přetvoření krajinného rázu dochází rovněž výstavbou přehradních nádrží a úpravou koryt vodních toků (Tallaksen, Van Lanen 2004). Zejména pozitivní vliv vodohospodářských soustav lze spatřit v možnosti převodu vody pomocí přivaděčů a umožnění zásobení vodou méně obdařených oblastí, jak je tomu ostatně i v případě převodu vody z Flájské přehrady do úpravny vody v Meziboří. Dle možností rovněž v souvislosti se suchem přehradní nádrže umožňují regulovat a nadlepšovat průtok ve vodním toku pod přehradou (POH 2014). Co se malých vodních nádrží týče, dle Habetse a kol. (2014) kumulativní výskyt malých vodních nádrží v povodí může svým vlivem snížit průměrný roční průtok v oblasti mírného pásu o přibližně 7 %, v aridních oblastech až o 20 %. Voda zadržovaná v malé vodní nádrži nedokáže nahradit chybějící zásoby vody v komplexní struktuře krajiny, které zajišťují její postupné uvolňování a tím omezuje rizika spojená s úplným vyschnutím toku i půdy v povodí. Složitosti situace nahrává i snaha o víceúčelovost malých vodních nádrží, která se při zachování požadavků pro chov ryb a současného

zachování minimálního zůstatkového průtoku může zdát značně problematická (Zahrádková a kol. 2015).

5.4 Dopady sucha

Dopady sucha jsou výsledkem komplexní interakce přírodních a antropogenních faktorů příčin jednotlivých typů sucha, které byly popsány v předchozí kapitole. S rostoucí populací se zvyšuje nejen poptávka po vodních zdrojích, ale také zranitelnost společnosti k nedostatku zejména pitné vody. Dopady sucha se nemusejí projevit pouze v určitém povodí, nebo státu, ale jeho následky mohou být pozorovány i v globálním měřítku (Šachová 2013). Bonaccorso, Castiglione a Rossi (2007) a Trnka (2010) dělí hlavní dopady sucha do tří odlišných kategorií na dopady environmentální, ekonomické a sociální. Jednotlivé kategorie nejsou přítomny odděleně, ale vzájemně se prolínají. Jsou navíc doprovázeny řadou dalších dopadů souvisejících s daným postiženým sektorem. Zmíněné dělení nabízí spíše socioekonomický pohled na problematiku dopadů sucha. Vlnas a kol. (2015) ve své studii dělí dopady sucha z fyzickogeografického pohledu na dopady způsobené hydrologickým a zemědělským suchem. Z důvodu prolínání ekonomických a sociálních dopadů sucha, došlo v této práci k charakteristice společných dopadů sucha na socioekonomickou sféru.

5.4.1 Environmentální dopady

Environmentální dopady sucha pociťujeme nejdříve v oblasti zemědělství a přírodních ekosystémů. Zranitelnost zemědělské produkce se odvíjí od závislosti jednotlivých plodin na potřebě zavlažování (Bonaccorso, Castiglione, Rossi 2007). Absence vláhy je nejzávažnější především ve vegetačním období, kdy je přítomnost vody pro rostlinu nejvíce potřebná (Novický a kol. 2008). Výrazný vliv sucha dopadá i na samotné přírodní ekosystémy, které v důsledku dlouhotrvajícího sucha ztrácí vhodné podmínky pro život. To může v krajních případech vést až k zániku některých specializovaných druhů (Bonaccorso, Castiglione, Rossi 2007; Tallaksen, Van Lanen 2004).

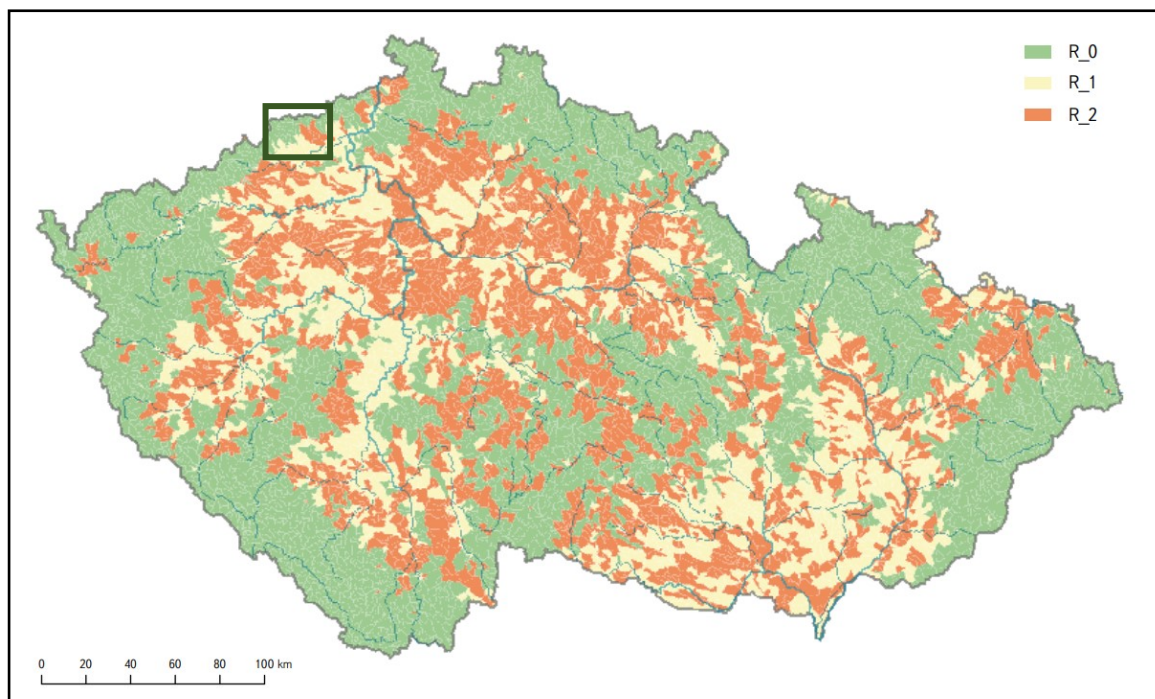
Vodní deficit se projevuje u rostlin zejména negativními dopady na jejich celkový růst a objem, což může ovlivnit následně i ekonomickou sféru, a to z důvodu nedostatečné produkce dřeva (Brázdil, Trnka a kol. 2015), případně z důvodu jiných ztrát zahrnujících nedostatečnou úrodu plodin (Novický a kol. 2008). S vyprahlou krajinou souvisí v neposlední řadě vyšší náchylnost k požárům, erozi půdy, zhoršení kvality vody a celkové biodegradaci krajiny (Tallaksen, Van Lanen 2004).

Během hydrologického sucha dochází ve vodním toku k poklesu průtoku s možností jeho úplného vyschnutí, které se v České republice začalo systematicky sledovat až během posledních

dekád. V důsledku sníženého objemu vody v řečišti je tok náchylnější ke znečištění. Zhoršující se abiotické a biotické podmínky. V krajním případě i úplná absence vody může vyvolat redukcii či vyhynutí na vodu vázaných rostlinných i živočišných druhů. Zhoršená kvalita vody je způsobena nejen samotným znečištěním, ale i omezenou možností samočištění toku způsobenou nemožností ředění znečištění pomocí většího objemu vody. Dopady zhoršené kvality vody v toku se projevují změněným chemismem vody, zvýšenou koncentrací škodlivých látek, sníženým množstvím rozpuštěného kyslíku a zvýšenou teplotou vody. Obvykle je k vidění i větší množství řas a jiných vodních rostlin (Brázdil, Trnka 2015).

Hodnocení rizik vysychání drobných vodních toků na území České republiky se věnuje například studie Zahrádkové a kol. (2015). Autoři studie analyzovali 332 lokalit (povodí IV. řádu) s výskytem drobných vodních toků po celé České republice (obrázek 10). Vysychání toku bylo detekováno pomocí metody retrospektivní biologické indikace založené na analýze makrozoobentosu. Za pomoci celé řady vstupních parametrů (deficit srážek, typ krajinného pokryvu, geomorfologické parametry, podíl horniny s obsahem jílovce, podíl stojatých vod v povodí) došlo za využití metody klasifikačního stromu k rozdělení rozlohy ČR podle stupně rizika vysychání drobných vodních toků na území s malým rizikem vysychání R_0 (45,3 %), středním rizikem vysychání R_1 (23,3 %) a s velkým rizikem vysychání R_2 (31,3 %). Povodí Loučenského potoka a Bouřlivce spadá podle této klasifikace do kategorie R_0 až R_1. Malým rizikem vysychání disponují především vyšší nadmořské výšky povodí Loučenského potoka a Bouřlivce. Do středního rizika vysychání drobných vodních toků spadá území Loučenského potoka a Bouřlivce nacházející se v nižších polohách v podkrušnohorské pánvi.

Dopady na biotu, způsobené vysycháním toku, Lake (2003) dělí na přímé a nepřímé. Přímé dopady se projevují změnou abiotických podmínek a snížením rozmanitosti habitatů způsobených sníženým průtokem a hladinou vody. Nepřímé dopady se pojí se změnami mezidruhových interakcí (zejména konkurence a predace) o prostor a potravu. Přímé i nepřímé dopady mohou mít vliv na snížení populační hustoty a druhové rozmanitosti. Působením obou typů dopadů může dojít rovněž ke změně trofické struktury, snížení dostupnosti zdrojů potravy, nebo ke změně ekosystémových procesů. Dle Broží (2019) existují studie, které dokládají, že i v období bez znatelného průtoku nedochází z hlediska biodiverzity ke krizovým stavům, neboť existuje předpoklad „pozitivního“ řešení těchto kritických stavů, o které se postará příroda sama. Autor však konkrétní studie dále neuvádí.



Obr. 10: Kategorizace území ČR podle míry rizika vysychání malých drobných toků
(Zdroj: převzato od Zahradkové a kol. 2015, upraveno)

5.4.2 Socioekonomické dopady

Jak již bylo nastíněno, ekonomické dopady sucha jsou následkem pokračujících enviromentálních dopadů, které lidské společnosti způsobují řadu ekonomických ztrát (Bonaccorso, Castiglione, Rossi 2007). Dle Trnky (2010) se ekonomické dopady projeví nejdříve v primárním sektoru hospodářství, zahrnující zemědělskou produkci. Z hlediska rostlinné produkce dochází ke snížení výnosu z úrody a pastvin. Z hlediska živočišné produkce pozorujeme zejména úbytky v produkci mléka (Bonaccorso, Castiglione, Rossi 2007). Brázdil, Trnka a kol. (2015) dodávají, že sucho má dopad nejen na velikost produkce, ale negativně se podílí rovněž na její kvalitě a bezpečnosti. Dopady sucha ovlivňují přímo či nepřímo celou řadu dalších oborů a odvětví.

Můžeme zmínit například průmyslu, energetiku, lesnictví a rybářství, jejichž chod a produkce je z velké části závislá na dostatečném množství a kvalitě vody. Jako další ekonomické dopady Trnka (2010) zmiňuje vzrůst nezaměstnanosti a ztrátu příjmů nejen pro místní komunity, ale i pro státní rozpočet. Dopady na společnost úzce souvisejí s vyspělostí dané země a zahrnují zejména ochranu zdraví a bezpečnost. V krajních případech i konflikty mezi vlastníky a uživateli vodního zdroje. Těmito problémy jsou nejvíce zasaženy rozvojové země, které nemají dobře vyvinutou infrastrukturu pro zásobování obyvatel. Deficit vody pak v těchto zemích způsobuje několikanásobně větší problémy, než je tomu v případě zemí rozvinutých (Šachová 2010; IDMP 2016).

5.5 Hodnocení hydrologického sucha

Vzhledem k pozvolnému nástupu i ukončení hydrologického sucha je jeho kvantifikace a vymezení problematické. V souvislosti s nejednoznačnou definicí sucha a odlišnými důsledky existuje pro hodnocení sucha velké množství tzv. indexů sucha lišící se svými vstupními veličinami v závislosti na ročním období a místních podmínkách. Indexy sucha mohou být aplikovány na celé časové řady, případně i na kratší období čítající měsíce a dny. Pro analyzování povrchového hydrologického sucha do výpočtu vstupují nejčastěji hodnoty vodního stavu a průtoku. Množství indexů sucha se vyvíjí a modifikuje v souvislosti s celosvětovým zájmem o tuto problematiku a jejich počet se tak neustále zvyšuje. Dle Van Loon (2015) je výběr indexu a jeho použití pro námi studované účely velmi důležité, neboť se od toho obvíjí i naše výsledky, které by tak mohly vést k odlišným závěrům, a to především s ohledem na trendy globální změny klimatu. Výběr indexu sucha je vždy na tvůrci dané analýzy, neexistuje „nejlepší“ index pro stanovení hydrologického sucha. Každý index je postaven na odlišné metodologii a zaměřuje se na konkrétní část hydrologického cyklu. Pro kvantifikaci a rozmanitost hydrologického sucha bychom měli vždy uplatnit více indexů.

IDMP (2016) poskytuje ucelený a přehledný dokument, který shrnuje celosvětově nejpoužívanější indexy sucha, ať již sucha meteorologického, agronomického, či hydrologického. Publikace nabízí také indexy stanovující sucho na základě datových snímků z dálkového průzkumu Země (IDMP, 2016). Podrobněji se na indexy sucha zaměřuje rovněž například práce Brázdila, Trnky a kol. (2015), Tijdemana a kol. (2020), nebo práce Nagyho (2020), který aplikuje indexy sucha k identifikaci suchých a vlhkých období na území Slovenska. Výčet indexů sucha, i když ne úplný, představuje rovněž práce Skály (2017), který hodnotí hydrologické sucho v pramenných oblastech šumavského regionu. K vyhodnocení hydrologického sucha Skála (2017) využívá metodu prahové hodnoty, metodu výpočtu nedostatkových objemů a metodu Gumbel 63. K tomuto kroku autora vedla snaha o hodnocení sucha v denním kroku s jasnou informací o jeho extremitě a možnosti hodnocení jednotlivých hydrologických profilů samostatně, což lze uplatnit i na námi hodnocené profily Lahošť a Duchcov.

Stahl a kol. (2020) dělí obecně indexy hydrologického sucha do dvou odlišných kategorií. Do první kategorie řadí indexy hodnotící výskyt nízkých průtoků pomocí konstantních či proměnných prahových hodnot. Druhou kategorií tvoří indexy vyjadřující míru podkročení zvolených prahových hodnot pomocí deficitních charakteristik.

Khanna (2020) dělí indexy hydrologického sucha podle hlavních vstupních veličin na indexy založené na srážkových úhrnech, průtoku, odtoku a na indexy používající údaje o hladině podzemní vody. Do samostatné kategorie vyčleňuje indexy založené na datech zahrnující období s nízkými

průtoky (tzv. „low flows“). Zároveň však sama autorka upozorňuje, že pouhé zaznamenání období s nízkými průtoky nemusí nutně představovat sucho (Khanna 2020).

Van Loon (2015) dělí indexy sucha na standardizované, reflektující míru abnormality jevu a časové, hodnotící časovou distribuci jevu za pomoci prahových hodnot. Nepříliš odlišné dělení nabízí také Brázdil, Trnka a kol. (2015), kteří indexy sucha dělí na prosté, závislé na vztahu hodnot pozorovaných charakteristik (odtok, zásoby podzemní vody) s dlouhodobým průměrem, nebo komplexní, které do svého výpočtu zahrnují více pozorovaných či odvozených vstupních veličin (např. vláhla půdy, zásoba vody ve sněhové pokrývce či nádržích). Výhodou využití prostých indexů je především jejich jednoduchost a nižší náročnost na vstupní hodnoty. To však může být do jisté míry i limitující, zvláště chceme-li detailnější a ucelenější obraz o chodu srážkoodtokového procesu v povodí. Vzhledem k rozsáhlosti kategorizace ukazatelů hydrologického sucha je v této práci uvedeno dělení dle českých autorů Brázdila, Trnky a kol. (2015) představující nejvyužívanější ukazatele hydrologického sucha pro pozorování povrchových vod.

Mezi **prosté indexy hydrologického sucha** Brázdil, Trnka a kol. (2015) řadí:

- metodu prahové hodnoty (metodu nedostatkových objemů),
- odtokový index sucha (SDI),
- standardizovaný index odtoku (SRI)
- stanovení sucha dle Světové meteorologické organizace.

Mezi **komplexní indexy hydrologického sucha** autoři Brázdil, Trnka a kol. (2015) řadí:

- Palmerův index hydrologického sucha (PHDI),
- index zahrnující vegetační odezvy sucha (VegDRI),
- index vlhkosti rostlin (CMI),
- index dodávek povrchové vody (SWSI)
- index náhrad sucha (RDI).

Ani výčet indexů Brázdila, Trnky a kol. (2015) však není kompletní. V současnosti je kladen důraz rovněž na propojení dopadu změn klimatu a antropogenní činnosti na hydrologické sucho, čímž se zabývá například index NDIA, který propojuje indexy HID pro odhad sucha vyvolaný antropogenní činností a index CID pro sucho vyvolané klimatickou změnou (Waseem 2020).

K výpočtu některých indexů lze využít například volně stažitelný software DrinC (Drought Indices Calculator), vyvinutý Národní technickou univerzitou v Athénách, případně software CDI založený na MS Excel, nebo balíček SPEI jako sadu funkcí, které lze implementovat do RStudio

(Tigras, Vangelis, Tsakiris 2015). Námi použité indexy (metody) pro analýzu hydrologického sucha jsou blíže popsány v kapitole 3.2.

Výše zmíněné indexy hydrologického sucha jsou založeny na přístrojovém vodoměrném pozorování. K hodnocení hydrologického sucha, resp. porovnání současných suchých epizod s epizodami, ve kterých ještě k vodoměrnému pozorování nedocházelo, nám poslouží historické a archivní dokumenty, obsahující většinou přímé či nepřímé údaje popisující počasí a jeho doprovodné jevy (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Za dokumentární prameny, shrnující důležité historické poznatky, se považují především kroniky, církevní prameny, případně osobní deníky, denní záznamy počasí, nebo novinové zprávy z nedávné historie. Dle Žaluda a kol. (2020) tvoří dochované dokumentární prameny základní soubor dat historické klimatologie, které slouží především k rekonstrukci klimatu či sestavení chronologické řady hydrometeorologických extrémů, případně k vyhodnocení charakteru a rozsahu škod způsobených extrémními hydrometeorologickými jevy v přírodě i ve společnosti.

V období počátku přístrojového pozorování hydrologických charakteristik na území současné České republiky byly minimální průtoky pozorovány například v roce 1904. Ucelené kvantitativní informace pojednávající o hydrologickém suchu před tímto rokem nejsou dle Elledera a kol. (2018) dostupné. V dokumentárních pramenech se můžeme většinou setkat pouze s omezenými informacemi o tom, po jakou dobu nebyly pozorovány srážky a jak rozsáhlé dopady mělo sucho na úrodu. Informace o hydrologickém suchu lze odhadovat z dokumentace nutnosti zastavení mlýnů z důvodu nedostatku vody v náhonu (Elleder a kol. 2018).

Rekonstrukcí klimatu a odlišení suchých a vlhkých epizod se mimo jiné zabývá i dendrochronologie (Kyncl 2017; Büntgen 2021), případně lze sucho v obecné rovině monitorovat i metodami dálkové detekce (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

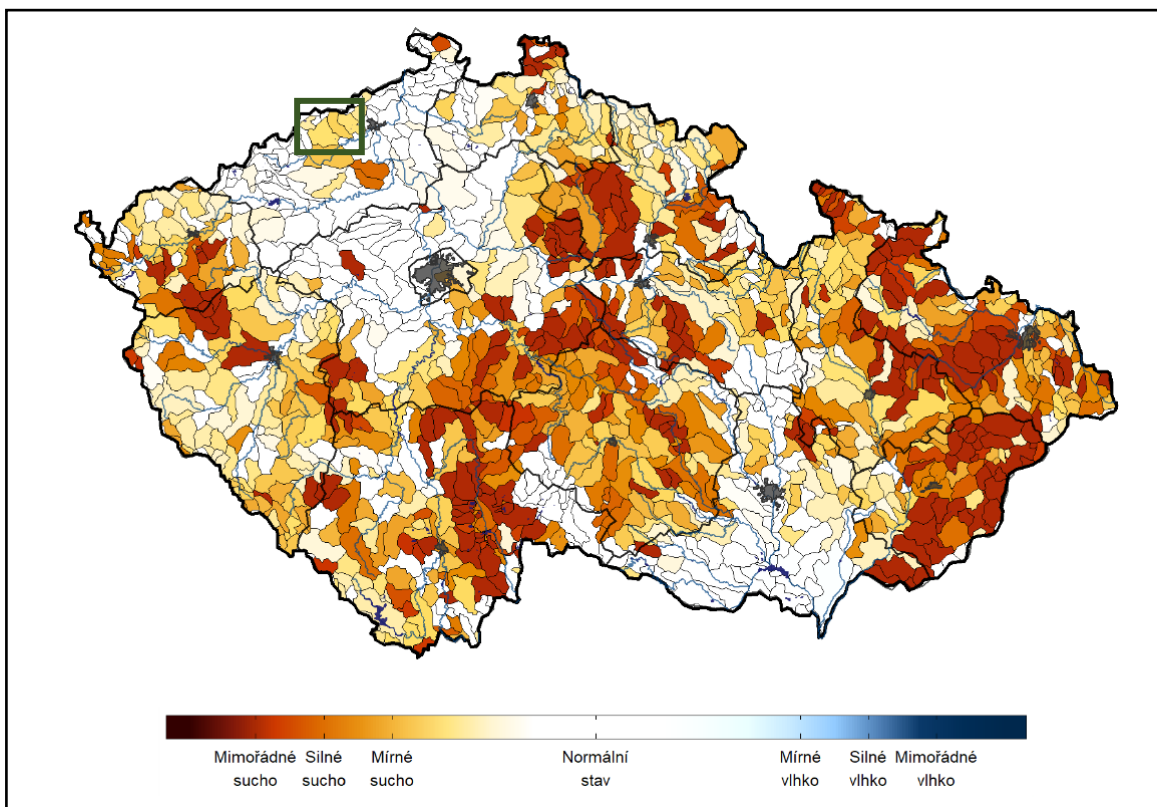
5.6 Hydrologické sucho na území České republiky v letech 2014-2020

Hodnocením příčin a dopadů sucha se v České republice věnuje hned několik institucí (např. Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo zemědělství, Český hydrometeorologický ústav, Ústav výzkumu globální změny Akademie věd ČR, podniky povodí, Lesy České republiky aj.). Cílem této podkapitoly není dopodrobna vylíčit hydrometeorologickou situaci zmíněných let na celém území České republiky. Vzhledem k rozsáhlosti tématu bude čtenáři obecně nastíněn vývoj hydrologického sucha v letech 2014-2020. Podrobnější informace o dané problematice s důrazem na vrcholové období extrémního hydrologického sucha v letech 2015 a 2018 se věnuje například práce Junkové (2019), která se zaměřila na povodí Lužnice, případně práce Buriana (2019) z povodí

Loděnice, nebo práce Lukášové (2020), která prováděla analýzu hydrologického sucha v povodí horní Mže. Zde zmínění autoři se shodují na extremitě sucha posledních let s nejvýraznějšími projevy v podobě nízkých průtoků pod hranicí sucha v roce 2018, což je blíže diskutováno v kapitole 7. Řadu dalších podrobných meteorologických i hydrologických informací o suchu v celorepublikovém měřítku lze rovněž dohledat v dokumentech – Hydrologické zprávy o suchu, které poskytuje pravidelně v denním, měsíčním i ročním chodu Český hydrometeorologický ústav.

Za počátek současného období sucha můžeme považovat již první polovinu roku 2014, která se vyznačovala odtokovým deficitem způsobeným nedostatečným množstvím srážek a nadprůměrnými teplotními poměry. Ačkoliv byl rok 2014 srážkově normální v souvislosti s nadnormální teplotou vzduchu v zimním období 2013/2014 a následně i v jarním období 2014 byly pozorovány podprůměrné zásoby vody akumulované ve sněhové pokrývce, jejichž nedostatek zapříčinil podprůměrný odtok (Čekal a kol. 2015). Následující rok 2015 se řadí mezi historicky nejvýznamnější sucha, která kdy byla na území České republiky zaznamenána. Stejně jako předchozí rok 2014 byl i rok 2015 teplotně nadnormální, což ještě více podpořilo výpar a následně i zintenzivnilo projev sucha. Průměrná roční teplota vzduchu 9,4 °C, stejně jako v roce 2014, převýšila o 1,5 °C hodnotu dlouhodobého normálu za období 1981-2010. Průměrný roční úhrn srážek 532 mm odpovídá 79 % srážkového normálu (tj. 686 mm). Zásoby sněhové pokrývky byly v roce 2015 podprůměrné. Nejvyšší hodnoty zásob sněhu byly zaznamenány především začátkem roku. Tento rok byl rovněž charakteristický výskytem sněhové pokrývky pouze ve vyšších nadmořských výškách a brzkým táním v jarních měsících (Čekal a kol. 2016).

Za pomyslný vrchol extrémního sucha považujeme letní měsíce červenec a srpen, které byly značně poznamenány pokračujícím deficitem srážek od února 2015. Nedostatečné množství srážek se projevilo podprůměrnými odtokovými procesy a postupným zmenšováním celkových zásob vody v povodí. Průtok pod úrovní hranice hydrologického sucha (Q_{355d}) byl na většině toků v roce 2015 zaznamenán opakovaně i po dobu několika týdnů. Na mnohých drobných, ale i větších tocích v rámci celého území České republiky, poklesl průtok dokonce na úroveň nižší než Q_{364d} . Ve 44. týdnu roku 2015 bylo mimořádné hydrologické povrchové sucho pozorováno na 25,4 % území České republiky (obrázek 11). Z hlediska poklesu zásob podzemní vody byly nejvíce zasaženy regiony permokarbonu severovýchodních Čech a také severovýchodní Moravy. Ve více než polovině (56 %) všech mělkých vrtů na území České republiky byl na konci prosince 2015 zaznamenán podnormální stav zásob vody. Naopak v případě hlubokých vrtů došlo koncem roku k vzestupům hladiny podzemní vody o různé intenzitě ve většině sledovaných oblastech České republiky (Fousová, Reidiger a kol. 2016).



Obr. 11: Mapa hydrologického povrchového sucha ve 44. týdnu roku 2015 s vyznačenými zájmovými povodími (Zdroj: HAMR 2021, upraveno)

Ačkoliv sucho v roce 2016 v porovnání s předchozím rokem 2015 nebylo tak výrazné, v některých oblastech České republiky pokračovalo i nadále a vlivem srážkového deficitu došlo k jeho prohloubení. Z hlediska srážkových úhrnů byl rok 2016 normální. Na území České republiky dosáhl průměrný roční srážkový úhrn hodnoty 637 mm, což představuje 93 % normálu z let 1981-2010. Roční průměrná teplota vzduchu 8,7 °C byla o 0,7 °C nižší, než předchozí rok 2015 a zároveň o 0,8 °C vyšší než dlouhodobá průměrná teplota vzduchu z let 1981-2010 (Čekal a kol. 2017). Srážkové deficity byly dle Fousové, Reidigera a kol. (2017) v porovnání větší v Čechách než v oblasti Moravy. Již počátkem roku 2016 se hodnoty průtoků na některých profilech pohybovaly na minimálních hodnotách Q_{355d} . Toto období bylo přerušeno až táním sněhové pokrývky v polovině února a začátkem března. S nástupem jarního a letního období došlo opět vlivem pokračujícího srážkového deficitu k poklesu hladin a výskytu minimálních hodnot průtoků pod hranicí Q_{355d} .

Čekal a kol. (2017) uvádí, že situace v mělkých vrtech v roce 2016 byla podobná situaci v roce 2015, avšak vydatnost pramenů vykazovala snížení v jarním období a následně i koncem roku z důvodu jejich nedostatečného doplnění. Nejvýraznější deficit podzemních vod byl nadále zaznamenán v regionu severovýchodních Čech. Ke zlepšení situace naopak došlo v regionu jižních Čech a koncem roku i v severovýchodní části Moravy (povodí Odry). Hladiny hlubokých zvodní byly

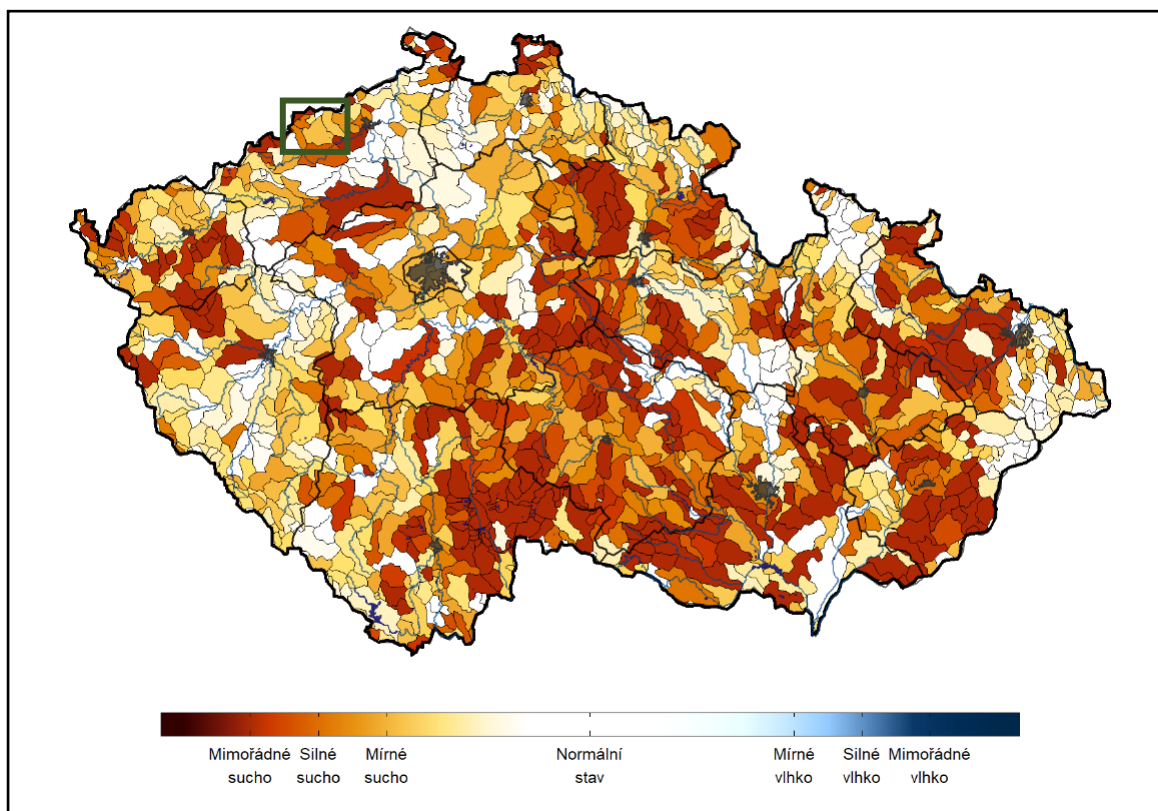
z hlediska dlouhodobých charakteristik hodnoceny na většině území České republiky jako průměrné. Pouze v oblasti východních Čech byly hladiny hlubokých zvodní v průběhu roku pod normálem.

Na většině měrných profilech toků na území České republiky pokračovalo hydrologické sucho (hodnoty průtoků Q_{355d} a méně) i v roce 2017. Krátkodobé zmírnění hydrologického sucha nastalo vlivem vydatných srážek v horských a podhorských oblastech, zejména na severu Čech, což vedlo ke zvětšení průtoků v korytech řek a prozatímnímu ukončení epizody minimálních průtoků (Čekal a kol. 2018). Nejvíce zasažena nízkými hodnotami průtoků byla oblast jižní Moravy, resp. povodí Dyje a s výjimkou května i povodí Vltavy. Stejně jako v předchozím roce se naopak průtoky blízké dlouhodobému průměru vyskytovaly v povodí Odry a Olše (Crhová a kol. 2018). Rok 2017 byl opět na území České republiky teplotně nadnormální. Průměrně za rok 2017 spadlo na území České republiky 683 mm srážek což představuje 100 % průměrného ročního dlouhodobého normálu z let 1981-2010. Většinu měsíců v roce 2017 lze považovat za srážkové normální. Podnormální průměrné měsíční teploty byly naměřeny zejména v zimním období. Naopak všechny letní měsíce lze hodnotit jako srážkově normální s výraznou plošnou nerovnoměrností. Množství sněhové pokrývky bylo začátkem zimního období roku 2016 vzhledem k častým oblevám podprůměrné. Maximálních hodnot sněhových zásob bylo dosaženo až začátkem února roku 2017. V případě mělkých zvodní nedošlo v zásobách podzemní vody k přílišným změnám oproti předchozímu roku 2016. Pokles hladiny v hlubokých zvodních i nadále přetrvával (Čekal a kol. 2018; Šercl a kol. 2018).

Druhý vrchol nedávné epizody sucha byl zaznamenán v roce 2018 (Crhová a kol. 2020). Pokračující deficit srážkových úhrnů a nadnormální teplota vzduchu výrazně prohloubila hydrologické sucho povrchových i podzemních vod na většině území České republiky (Kukla a kol. 2019). Nadprůměrná roční teplota vzduchu v roce 2018 dokonce předčila i průměrnou roční teplotu naměřenou v doposud nejteplejším roce 2015. Roční srážkový úhrn je v roce 2018 s hodnotou 522 mm hodnocen jako silně podnormální. Od roku 1961 byl nižší srážkový úhrn zaznamenán pouze v rovněž suchém roce 2003 (504 mm) (Čekal a kol. 2019). Vývoj suchého období v roce 2018 započal již v období zimních měsíců. Z důvodu absence významnějších zásoby sněhové pokrývky a srážek zejména v nízkých a středních polohách se vyskytl trend poklesu vodnosti a souvisejícího stavu podzemních vod ve velmi brzké době. V průběhu roku 2018 byly stavy extrémně nízkých průtoků detekovány od letních měsíců až po konec roku. Za vrchol období sucha roku 2018 lze považovat měsíce červenec a srpen s výrazným deficitním srážkovým úhrnem rovným méně než polovině srážkového normálu, který byl podpořen vysokým výparem z krajiny, hladiny toků i vodních nádrží (Kukla a kol. 2019). Daňhelka, Kubát a kol. (2019) dodává, že z hlediska stavu povrchových i podzemních vod byl rok 2018 sušší než rok 2015. Jedná se tedy o již pátý suchý a zároveň nejteplejší rok v řadě, což se výrazným způsobem projevilo i na stavu povrchové a podzemní vody na našem

území. Podprůměrné hodnoty odtoku na území České republiky byly zaznamenány ve všech hlavních sledovaných povodích i téměř během celého roku 2018 (Hubalová, Janíček a kol. 2019). Nejvýraznější mimořádné povrchové hydrologické sucho roku 2018 bylo zaznamenáno na 35 % území České republiky ve 47. a 48. týdnu (obrázek 12). Pokles hladin v mělkých zvodních byl nevýraznější ve 34. týdnu, ve třetí srpnové dekádě. V tomto období hladina 59 % mělkých vrtů poklesla na silně až mimořádně podnormální úroveň. Mimořádně podnormální úrovní hladiny podzemní vody byl zasažen především region severovýchodních Čech, povodí horního a středního Labe. Začátkem roku 2018 byl stav hladin hlubokých zvodní převážně normální, až mírně nadnormální. V listopadu byl stav úrovně hladiny u 34 % hodnocených hlubinných vrtů již mimořádně podnormální (Daňhelka, Kubát a kol. 2019).

Teplotně mimořádně nadnormální byl na území České republiky i rok 2019. Po předchozím roce 2018 se tak jedná o druhý nejteplejší zaznamenaný rok v časové řadě průměrných ročních teplot vzduchu od roku 1961. Na rozdíl od předchozího roku 2018, který byl srážkově silně podnormální, byl rok 2019 s průměrným ročním úhrnem srážek 634 mm hodnocen jako normální (92 % normálu 1981-2010). Byly pozorovány rovněž výrazné regionální rozdíly v prostorovém rozložení srážek. Zatím co na území Čech bylo zaznamenáno průměrně 601 mm srážek, území Moravy a Slezska tomu bylo za stejné časové období až 701 mm (Fousová, Jiroudová, Koubová a kol. 2020).



Obr. 12: Mapa hydrologického povrchového sucha ve 47. a 48. týdnu roku 2018 s vyznačenými zájmovými povodími (Zdroj: HAMR 2021, upraveno)

Zásoby sněhové pokrývky v zimní sezoně 2018/2019 i 2019/2020 lze hodnotit vzhledem ke srovnávacímu období 1980-2010 jako výrazně podprůměrné (Crhová, Čekal a kol. 2020). Stav povrchových vod v roce 2019 byl ovlivněn především kumulativním suchem z let předešlých. I přesto byly naměřené průtoky v tocích obecně vyšší než v roce 2018, ale stále nízké pod úrovní dlouhodobých průměrů (Fousová, Jiroudová, Koubová a kol. 2020). Stejně jako předchozí rok byly i v roce 2019 celkově nejmenší průtoky zaznamenány v povodí řeky Dyje, středního toku Labe a na přítocích středního toku Vltavy. Nejmenší hladiny toků byly z celého roku zaznamenány na konci července. V té době byla hodnota vodnosti pod nebo na úrovni Q_{355d} sledována přibližně na 40 % hlásných profilech po celé České republice (Crhová, Čekal a kol. 2020). Negativní vliv suchého roku 2018 měl dopad i na vývoj stavu hladin podzemní vody ve vrtech mělkých zvodní v roce 2019. Podnormální až silně podnormální výchozí stav mělkých zvodní byl způsoben kumulujícími se deficity srážek především v zimním a jarním období a nízkým podílem vody z tání sněhu. Rok 2019 byl jedním z doposud nejsušších let i u hlubokých vrtů. Na území České republiky byla suchem v hlubokých zvodních nejvíce zasažena oblast české křídové pánve, kde hodnoty hladiny byly po celý rok na úrovni mimořádně podnormálního stavu (Fousová, Jiroudová, Koubová a kol. 2020).

Žalud a kol. (2021) označují rok 2020 za období extrémů. Sucho z předchozích let přetrvalo především na území severozápadní části Čech. Naopak poměrně vydatné srážky a s nimi související nadprůměrné množství dostupné vody bylo pozorováno v jižní a střední části Moravy. Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2020 (9,1 °C) nepředčila naměřené hodnoty teploty vzduchu v letech 2018 a 2019. Po srážkově podnormálním roce 2018 a normálním roce 2019 byl rok 2020 na území České republiky srážkově nadnormální s průměrným ročním úhrnem srážek 766 mm, což představuje 112 % normálu. Na území Čech spadlo v průměru 716 mm srážek (105 % normálu), zatímco ve východní části České republiky na území Moravy a Slezska spadlo v průměru o 152 mm srážek více, tj. 868 mm, což představuje 126 % normálu. Ke zvýšenému ročnímu průměru srážek na území České republiky přispěl především mimořádně nadnormální červen, ve kterém spadlo 152 mm srážek, což představuje 192 % normálu. Nejméně srážek v porovnání s normálem spadlo v severozápadní části republiky v Libereckém, Ústeckém a Karlovarském kraji. Velmi netypický chod měly v roce 2020 rovněž mělké vrty a prameny. V první polovině roku byl stav podzemní vody v mělkých vrtech celkově nejsušší od roku 1971.

Jarním období, ve kterém zpravidla pozorujeme roční maxima v oblasti podzemních vod, bylo naopak velmi suché. K výraznému zlepšení až na normální stav došlo naopak během léta, kdy většinou dochází k přirozenému poklesu. Ročního maxima (silně nadnormálního stavu) bylo u mělkých zvodní dosaženo v říjnu. Situace však byla na území Čech a Moravy odlišná. Od druhé poloviny roku byl na severní Moravě zaznamenán normální stav podzemní vody v mělkých vrtech.

V zimních měsících dokonce byl naměřen stav hladiny mělkých vrtů a vydatnost pramenů nadnormální na celém území Moravy. Naopak v oblasti severozápadních Čech převládalo sucho téměř po celý rok. U hlubokých vrtů pokračovalo v menší míře sucho z předchozího roku, a to na většině území Čech. Nejvíce sucho zasáhlo oblast severočeské křídové pánve, kde trval mimořádně podnormální stav hladiny podzemní vody v hlubokých vrtech po celý rok (Crhová a kol. 2021).

Tabulka 7 shrnuje vývoj výše uvedených hodnot vybraných charakteristik klimatu během suché epizody let 2014-2020 na území České republiky. V následující tabulce 8 jsou uvedeny vybrané charakteristiky klimatu z let 2014-2020 se zaměřením na severozápad Čech, resp. Ústecký kraj. Podrobněji bude problematika klimatu v této části České republiky analyzována v kapitole 7.1.

*Tab. 7: Vybrané charakteristiky klimatu na území České republiky v letech 2014-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)*

charakteristiky klimatu	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
úhrn srážek [mm]	657	532	637	683	522	634	766
úhrn srážek v % normálu	96	79	93	100	76	92	112
průměrná teplota vzduchu [°C]	9,4	9,4	8,7	8,6	9,6	9,5	9,1
odchylka T* od normálu [°C]	1,5	1,5	0,8	0,7	1,7	1,6	1,2

*T – teplota vzduchu

*Tab. 8: Vybrané charakteristiky klimatu severozápadních Čech (Ústecký kraj) v letech 2014-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)*

charakteristiky klimatu	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
úhrn srážek [mm]	606	591	655	667	438	547	569
úhrn srážek v % normálu	95	93	103	105	69	86	89
průměrná teplota vzduchu [°C]	9,5	9,5	8,9	8,9	9,7	9,7	9,3
odchylka T od normálu [°C]	1,3	1,3	0,7	0,7	1,5	1,5	1,1

*T – teplota vzduchu

6 Stanovení minimálního zůstatkového průtoku ve vodním toku

Tato kapitola představuje potřebu a účel stanovení minimálního zůstatkového průtoku (déle pouze MZP) ve vodním toku. Zabývá se v současnosti používaným metodickým pokynem pro stanovení MZP i plánovanou novelou přístupu stanovení MZP, resp. nařízením vlády, jehož cílem je přinést do této problematiky větší snahu zohlednit požadavky vodních a na vodu vázaných ekosystémů. Kritéria nařízení vlády pro stanovení MZP byla nastavena tak, aby hodnoty vypočteného MZP nepřekročily rozmezí Q_{355d} a Q_{330d} zajišťující možnost reprodukce a přežití na vodu vázaných společenstev (MŽP 2019).

6.1 Zásady stanovení minimálních zůstatkových průtoků

Loučenský potok i Bouřlivec jsou hospodářsky významné toky poskytující vodu celé řadě odběratelů povrchové a podzemní vody. Pro zachování vodohospodářských a ekologických funkcí toku pod odběry vody a vodohospodářskými díly je nutné se zamyslet a vhodně stanovit limity průtoku pro udržení života ve vodním toku a zachování komunikace vody povrchové s vodou podzemní.

- **Zůstatkovým průtokem** se rozumí průtok, který zůstane v daném profilu nebo úseku vodního toku po odběru či více odběrech a jiném užívání vod.
- **Minimálním zůstatkovým průtokem** se rozumí minimální průtok, který je nutno ponechat v daném profilu nebo úseku vodního toku pro jeho zachování a udržení základních vodohospodářských a ekologických funkcí (MŽP 1998). V literatuře se lze rovněž setkat s ekvivalentním pojmem enviromentální průtok (Zahrádková a kol. 2015).

MZP je definován zákonem č. 254/2001 Sb. § 36, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) jako „*průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku*“ (MŽP 2001). Stanovením MZP disponuje vodoprávní úřad, který tak činí v povolení k nakládání s vodami, ve kterém mimo jiné vychází z jednotlivých opatření k dosažení cílů ochrany vod, definovaných a přijatých v aktuálně platném plánu daného povodí, s přihlédnutím k podmínkám toku a charakteru nakládání s vodami. Vodoprávní úřad je dále povinen stanovit místo a způsob měření MZP společně s četností předkládání výsledků těchto měření příslušnému vodoprávnímu úřadu. Kritéria a způsob stanovení MZP vyhláší vláda nařízením.

6.2 Metodika stanovení minimálních zůstatkových průtoků

Metodiku, podle které se aktuálně stanovují MZP, uvádí metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ČR z roku 1998 (dále „metodický pokyn“). Pro stanovení směrných hodnot MZP je nutné znát hodnoty průtoků Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} (hodnota průtoky byla dosažena, nebo překročena průměrně 330, 355 a 364 dní v daném roce), které se stanovují z řady průměrných neovlivněných denních průtoků z let 1931-1980. Pokud nemáme k dispozici neovlivněné průtoky ze zmíněných let, je možné použít řadu průměrných denních průtoků z let 1931-1960. Základním kritériem je hodnota průtoky Q_{355d} daného profilu, která určuje následný výpočet MZP. Směrné hodnoty MZP se následně stanoví podle tabulky 9. Balvín a Vizina (2018) upozorňují na nedostatky, které mohou vyvolat nejistotu při stanovení MZP. Dle autorů je takové stanovení MZP na základě metodického pokynu skokové, což je nejen nespravedlivé vůči odběratelům vod, ale ani z hydrologického hlediska ne příliš logické. Autoři rovněž zmiňují, že způsob stanovení hodnot MZP dle tohoto metodického pokynu je primárně odvozen za účelem potřeby ředění odpadních vod pod čistírnami odpadních vod.

Tab. 9: Stanovení směrných hodnot MZP dle metodického pokynu z roku 1998
(Zdroj: vlastní zpracování; MŽP 1998)

průtok Q_{355d} (m^3/s)	minimální zůstatkový průtok
<0,05	Q_{330d}
0,05-0,5	$(Q_{330d} + Q_{355d}) * 0,5$
0,51-5,0	Q_{355d}
>5,0	$(Q_{355d} + Q_{364d}) * 0,5$

Ke stanovení MZP dochází v profilech vodních toků ovlivněných nakládáním s vodami, a to zpravidla bezprostředně pod místem odběru vod. Směrné hodnoty MZP jsou kritériem pro Státní vodohospodářskou bilanci. Rovněž slouží i jako základ pro stanovení výsledných hodnot MZP, u kterých je třeba zhodnotit řadu dalších charakteristik vodního toku (hydraulické, hydrologické, morfologické). Důležité je rovněž zhodnocení režimu minimálních průtoků, rozkolísanost průtoků během roku, případně tvar koryta a délka úseku vodního toku, jehož průtok je ochuzen. Hodnocení MZP se stanovuje na základě velikosti, doby trvání a období a četnosti výskytu. Upřednostňuje se stanovení hodnot MZP pro vhodná časová období (např. sezóna, měsíc) v různé výši, s důrazem na delší úseky vodního toku s ochuzeným průtokem (MŽP 1998).

V případě závažných důvodů je možné hodnoty MZP stanovit vyšší, případně nižší, než odpovídá jejich stanovené směrné hodnotě. Vyšší MZP v případě nutnosti zachování nebo zlepšení jakosti vod, zajištění příznivých podmínek pro život ve vodě, zabránění intenzivní sedimentaci, nebo k ochraně vodního toku jako estetického krajinnotvorného činitele. Naopak nižší

MZP je ve výjimečných případech možno překročit k zabezpečení potřeb veřejného zájmu, a to zejména k zajištění zásobování pitnou vodou po dobu nutnou k překonání nastalé nouzové situace. Nepřekročitelnou mez v tomto případě představuje hodnota MZP odpovídající Q_{364d} . Vodní toky s naměřeným průtokem Q_{355d} menším než $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ pak nejsou doporučovány pro povolení nakládání s vodami (odběru povrchových vody) ani k jejich odvádění v průběhu celého kalendářního roku. U vodních toků s povolením k odběru nebo jinému užívání, u kterých v průběhu běžného roku klesne průtok pod hranici MZP, nelze nadále povrchové vody odebírat ani je jinak užívat. Výjimku zde opět tvoří případy vedoucí k možnému ohrožení veřejného zájmu zásobením vodou (MŽP 1998).

6.3 Plánovaná novela stanovení minimálních zůstatkových průtoků

Plánovaná novela stanovení MZP je předkládána ve formě nařízení vlády. Nutnost změny postupu stanovení MZP spočívala v implementaci zohlednění dopadu na ekologickou složku vodních útvarů podle platné *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES* („Rámcová směrnice o vodách“) a současně cíle ochrany vod dle § 23a vodního zákona pro zachování ekologické funkce vodního útvaru s možností obecného nakládání s povrchovými vodami (MŽP 2019).

Jak již bylo zmíněné v předchozí kapitole (viz kapitola 6.2) v současnosti používaný metodický pokyn pro stanovení MZP z roku 1998 stanovuje pouze jedinou hodnotu platnou pro celý rok. Nepočítá tedy s běžnou variabilitou průtoků, která je pozorována na tocích v průběhu celého roku. V metodickém pokynu není rovněž uvažován regionální přístup pro stanovení MZP, ani souvislost s ekologickým průtokem. Tyto nedostatky řeší a napravuje právě nařízení vlády předložené Ministerstvem životního prostředí pro stanovení MZP vypracovaný VÚV TGM v.v.i. (Pažourková 2013), které ovšem vychází z konceptu metodického pokynu z roku 1998 (Balvín, Mrkvičková, Skybová 2013).

Pro stanovení MZP byly nově použity pozorované hodnoty průměrných denních průtoků (M-denní průtoky) z let 1981-2010, které zajišťuje pro vybrané profily ČHMÚ. Oproti stávajícímu výpočtu MZP v novele nařízení vlády pro stanovení MZP vstupuje mimo jiné do výpočtu více hydrologických charakteristik (Q_{355d} , Q_{330d} a Q_a), což přispívá k objektivnějšímu stanovení hodnoty MZP (Balvín, Vizina 2018).

6.3.1 Ekologický průtok

Velikost MZP má bezpochyby značný vliv na životní funkce vodních ekosystémů, neboť právě chemický i biologický stav vodního útvaru úzce souvisí s jejich přežitím. V literatuře se tak můžeme rovněž setkat s pojmem ekologický, případně enviromentální průtok, jehož velikost je zpravidla

založena na specifických znalostech o dané lokalitě, mezi které se řadí například struktura daného ekosystému, zahrnující převažující, případně chráněné druhy organismů, morfologii toku, nebo výskyt jednotlivých habitatů (Mrkvičková, Balvín 2013). Vhodné rozmezí ekologického průtoku zajišťuje organismům vázaných na vodu dobré podmínky pro život. Stanovení ekologického průtoku je podmíněno chemickými ukazateli, neboť právě ekologický průtok velmi často vychází z požadavků na dodržení jisté kvality vody (Klímová 2013).

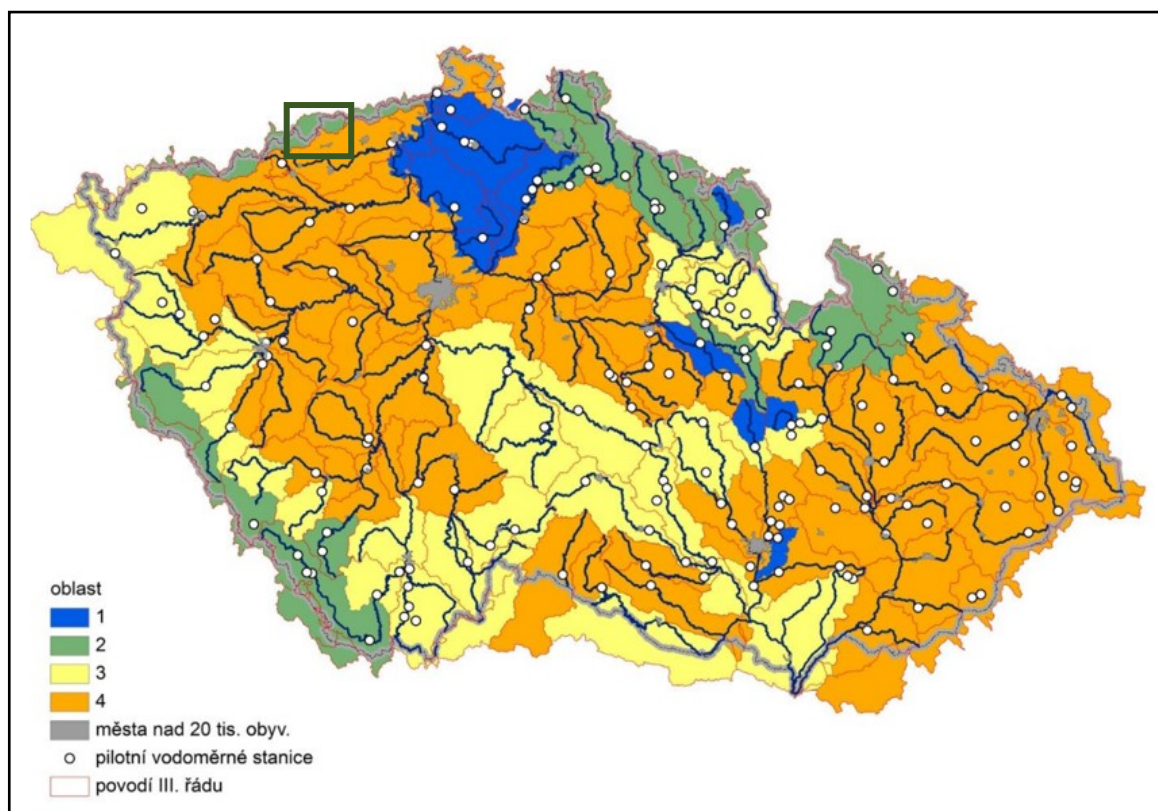
V podmínkách České republiky se ekologický průtok definuje jako minimální průtok pro udržení a zachování přírodního prostředí tekoucích vod. Jinými slovy lze v našich podmínkách chápat MZP rovněž jako průtok ekologický. Živá složka toku (např. ryby, bentos) není ovlivněna pouze nízkými průtoky, ale i průtoky vysokými, které mohou devastovat koryto toku a odnášet přítomnou faunu a floru mimo své přirozené působiště (Pažourková 2017).

Novela stanovení MZP vychází z experimentální metody proudění v toku IFIM (Bovee a kol. 1998), která byla v podmínkách ČR zpracována pomocí modelového nástroje PHABSIM (Milhous a kol. 1989), pro zajištění vhodného průtokového režimu na základě potřeb dotčených ekosystémů. Simulační model PHABSIM („Physical Habitat Simulation Systém“) souží k analýze a vizualizaci vztahu simulovaného průtoku a místního habitatu. Z výsledků je patrné, že se jako vhodný pro zajištění dobrých podmínek pro život vodních ekosystémů a na vodu vázaných ekosystémů jeví průtok Q_{330d} , který se v oblastech 2 a 3 (viz kapitola 6.3.2) pohybuje kolem 25-30 % Q_a . V oblastech 1 odpovídá průtok o velikosti 30 % Q_a průtoky s dobou překročení Q_{364d} a v kategorii 4 se jedná o průtok Q_{300d} až Q_{270d} (Mrkvičková, Balvín 2013; Balvín, Vizina 2018).

6.3.2 Regionalizace

Myšlenka regionalizace je založena na podílu základního odtoku na celkovém odtoku, množství srážek, hydrogeologických poměrech a nadmořské výšce povodí. Bylo třeba vymezit a odlišit oblasti s vyrovnaným celkovým odtokem po většinu roku, bez výrazného poklesu vodnatosti v letních měsících a začátkem podzimu a oblasti potenciálně zranitelné vůči suchu s výrazně nevyrovnaným celkovým odtokem během roku (Balvín, Vizina 2018).

Za tímto účelem byl vybrán parametr K_{99} . Na základě parametru K_{99} , který se stanovuje jako poměr hodnot denních průměrných průtoků $Q_{99\%}$ a hodnot dlouhodobého průměrného průtoku Q_a bylo území České republiky rozděleno do čtyř oblastí s odlišnou metodou stanovení MZP dle přírodních podmínek (obrázek 13). Čím vyšší je hodnota parametru K_{99} , tím vyrovnanější chod průtoku můžeme během roku předpokládat. K rozdělení území byly využity hranice povodí čtvrtého řádu (Mrkvičková, Balvín 2013).



Obr. 13: Rozdělení České republiky do čtyř kategorií podle parametru K_{99}
(Zdroj: převzato od Balvína, Mrkvičkové a Skybové, 2013, upraveno)

- *Oblast 1* – oblast z velké části tvořena křídovými sedimenty. Základní odtok zde tvoří značnou část celkového odtoku z důvodu drenážní báze. Parametr K_{99} je zde větší než 0,18.
- *Oblast 2* – horské oblasti. Tato oblast je charakteristická poměrně vyrovnaným odtokem způsobeným vysokými úhrny srážek. Parametr K_{99} je zde větší než 0,15 a menší než 0,18.
- *Oblast 3* – oblast Českomoravské vrchoviny a podhorských oblastí, které jsou tvořeny převážně krystalinikem. Parametr K_{99} se v těchto lokalitách pohybuje v rozmezí od 0,1 do 0,15.
- *Oblast 4* – oblast s výrazně nerovnoměrným průtokovým režimem během roku. Parametr K_{99} je zde menší než 0,1.

Komplexní přístup nového způsobu stanovení MZP přináší z hlediska hydrologické variability díky rozdělení České republiky podle hranic povodí čtvrtého řádu jisté zjednodušení, neboť nelze obsáhnout všechny charakteristické typy povodí. Dle Balvína a Viziny (2018) je však rozdělení území podle koeficientu K_{99} dostatečně reprezentativní k popisu vyrovnanosti odtokového režimu v oblasti.

6.3.3 Sezonalita

Dosavadní jediná navržená hodnota (dle metodického pokynu z roku 1998) pro dodržení MZP nepočítá s možnou přirozenou variabilitou průtoku během roku. Novela metodiky dle vládního nařízení se snaží o co největší přiblížení přirozeně se měnícímu vodnímu stavu. Z tohoto důvodu jsou vyčleněna dvě období v roce, pro která se určí hodnota MZP zvlášť. Hydrologický rok je tak rozdělen na sezonu hlavní, trvající od května do ledna a sezonu jarní od února do dubna. Tento způsob by měl dle autorů metodiky Mrkvičkové a Balvína (2013) zajistit optimální hodnotu MZP po celý rok.

Rozdělení MZP na základě sezonality je dle Balvína a Viziny (2018) logické a v západních státech Evropy zcela běžné. I přesto upozorňují na komplikace, které jsou spjaté s vlastním měřením sezonních hodnot. Odlišnost hodnot hlavní a jarní sezony je dle jejich studie u malých průtoků (desítky l/s) maximálně 10-20 %, což představuje z hlediska měření a s ním spojených nejistot pouze malé procento. Vyšší hodnota MZP v jarní sezoně tak může být těžko kontrolovatelná oproti hodnotě stanovené v sezoně hlavní, a to z důvodu blízkosti obou hodnot a obtížného stanovení daných hodnot například na vodočetné lati.

6.3.4 Metodika novely pro stanovení minimálního zůstatkového průtoku

Metoda výpočtu je poměrně jednoduchá a je uvedena v tabulce 10. MZP pro danou oblast a roční období bude vypočítán na základě výpočtu poměru průtoku Q_{355d} a Q_a , násobeným průtokem Q_{330d} a koeficientem K. V jarních měsících dojde k navýšení minimálního zůstatkového průtok podle prahové hodnoty Q_{330d} (Balvín, Vizina 2018).

Tab. 10: Stanovení hodnot MZP dle plánované novely nařízení vlády
(Zdroj: vlastní zpracování; Balvín, Vizina 2018)

oblast	hlavní sezona		koeficient K	jarní sezona	
1	květen-leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a) * Q_{330d} * K$	1,2	únor-duben	Q_{330d}
2	květen-leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a) * Q_{330d} * K$	1,1	únor-duben	Q_{330d}
3	květen-leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a) * Q_{330d} * K$	1,05	únor-duben	Q_{330d}
4	květen-leden	$(1 - Q_{355d}/Q_a) * Q_{330d} * K$	1,07	únor-duben	Q_{330d}

Dle Balvína a Viziny (2018) novela stanovení MZP zajišťuje ve většině případů navýšení požadavků na MZP na rozdíl od doposud platných hodnot průtoků stanovených na základě metodického pokynu z roku 1998 a to zejména u toků v plošně převažující kategorii 4, které jsou charakteristické rozkolísaným průtokovým režimem.

7 Výsledky

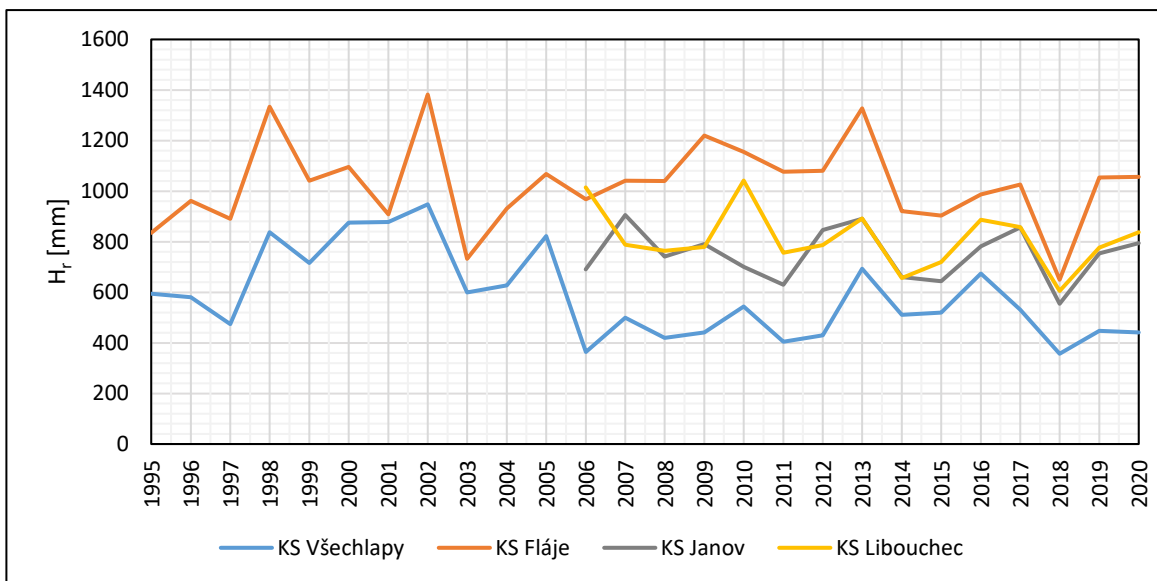
7.1 Charakteristika srážkových a teplotních poměrů

Tato kapitola představuje nahlédnutí do analýzy srážkových a teplotních poměrů v oblasti povodí Bouřlivce, jeho největšího páteřního přítoku a blízkého okolí. Použitá data jsou blíže představena a popsána v kapitole 3. Jako součást hodnocení byla vytvořena celé řada grafů a tabulek pro názornější představení analyzovaných srážkových a teplotních charakteristik.

7.1.1 Srážkové poměry

Roční celkové množství úhrnu srážek (H_r) na jednotlivých zkoumaných stanicích je na obrázku 14 na následující straně. Můžeme si povšimnout značné nevyrovnanosti množství srážek během celého sledovaného období. Nejvyšší roční úhrn srážek ze všech sledovaných stanic byl za celé období naměřen v roce 2002 na klimatické stanici Fláje o celkovém množství 1382 mm. Naopak nejnižší roční úhrn srážek byl s hodnotou 357 mm zaznamenán v roce 2018 na nejnižše položené klimatické stanici Všechny. V roce 2018 došlo rovněž k zaznamenání nejnižších ročních úhrnů srážek na všech sledovaných klimatických stanicích. Na nejvýše položené klimatické stanici Fláje bylo za rok 2018 naměřeno 650 mm srážek. Druhá nejvýše položená klimatická stanice Janov zaznamenala celkový roční úhrn za ten samý rok pouze 555 mm srážek, tj. přibližně o 95 mm srážek méně než na nejbližší a o 114 m výše položená klimatická stanice Fláje. Na klimatické stanici Libouchec byl v roce 2018 naměřen celkový úhrn srážek o hodnotě 605 mm. Následující rok došlo opět k nárůstu množství srážek u všech sledovaných klimatických stanic. V roce 2020 spadlo na stanici Všechny pouze o 5 mm srážek méně než v roce předchozím. Stejně vyrovnané množství srážek zaznamenala i stanice Fláje, kde srážkoměr v roce 2020 naměřil přibližně pouze o 2 mm srážek více než v roce předchozím. Nárůst srážek oproti roku 2019 zaznamenaly v roce 2020 i stanice Janov a Libouchec, a to o 178 mm více v případě stanice Janov a o 179 mm více v případě stanice Libouchec.

Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek za roky 1995-2020 se pohybuje na klimatické stanici Všechny na hodnotě 586 mm, klimatická stanice Fláje zaznamenala za stejné období v průměru 1027 mm srážek. Hodnota dlouhodobého průměrného ročního úhrnu srážek za roky 2006-2020 byla na klimatické stanici Janov naměřena ve výši 749 mm, klimatická stanice Libouchec za stejné období naměřila v průměru 811 mm srážek.

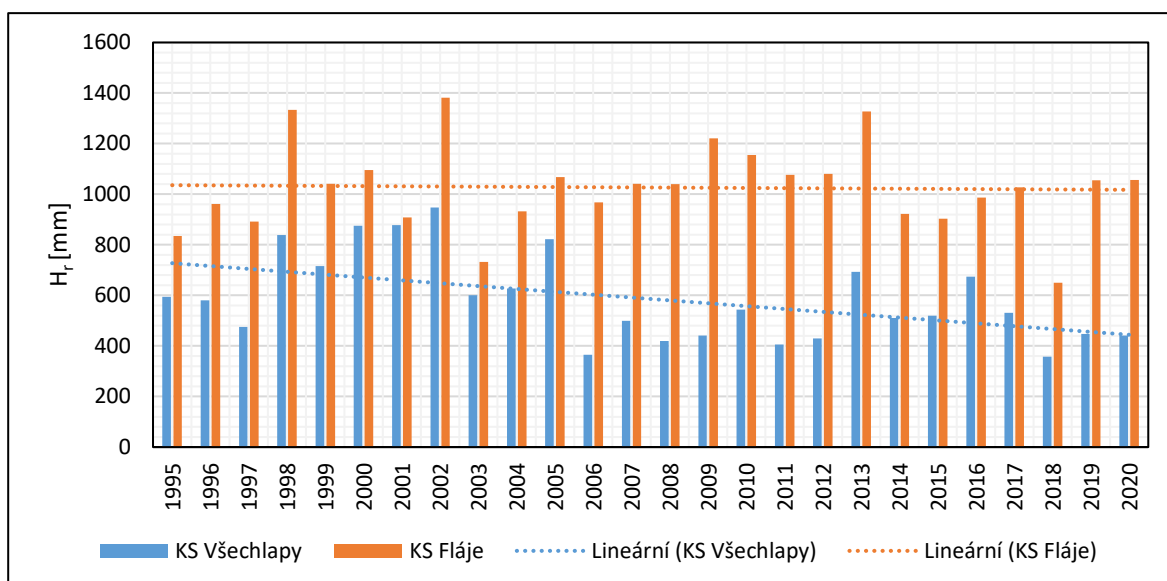


Obr. 14: Roční celkový úhrn srážek na stanici Všechny, Fláje, Janov a Libouchec v letech 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

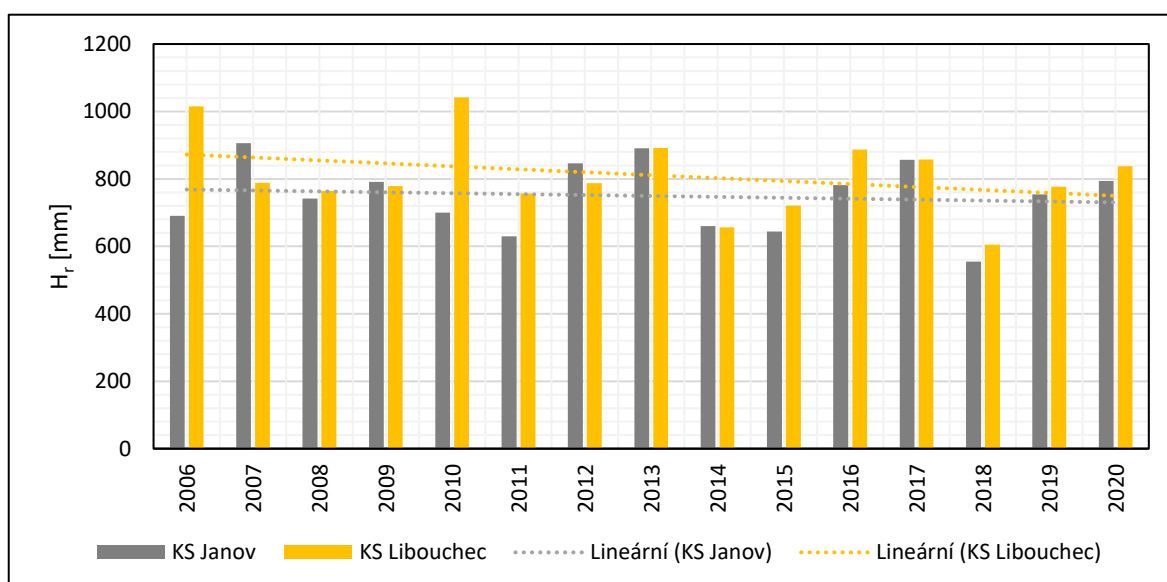
Zajímavé je také porovnání naměřených hodnot u klimatických stanic umístěných ve vyšších a nižších nadmořských výškách. Tento způsob vyjádření odlišností byl zvolen také z hlediska stejně dlouhých řad měření. Hodnoty ročního úhrnu srážek pro klimatickou stanici Všechny, byly porovnány s hodnotami za stejné období pro klimatickou stanici Fláje (obrázek 15). Hodnoty ročního úhrnu srážek z klimatické stanice Janov byly porovnány s hodnotami z klimatické stanice Libouchec (obrázek 16).

Oba grafy 15 a 16 byly následně proloženy lineární spojnici trendu. Není snahou o zhodnocení trendu vývoje množství srážek na základě této spojnice. Čtenáři pouze nastiňuje možný průběh a vývoj trendu. Samotné potvrzení či vyvrácení trendu v datové řadě vyžaduje zapojení hlubších statistických metod, které bude provedeno v následujících kapitolách. Ačkoliv se klimatická stanice Libouchec a klimatická stanice Janov nacházejí nejdále od sebe (přibližně 36,5 km vzdušnou čarou) a v odlišné nadmořské výšce, jejich naměřené hodnoty úhrnu srážek se výrazně neliší. Opačně je tomu u klimatické stanice Všechny a klimatické stanice Fláje, kde jsou úhrny srážek od roku 2006 značně odlišné. Poklesovou tendenci úhrnu srážek podle lineární spojnice trendu vykazují všechny zde uvedené klimatické stanice. Největší úbytek srážek je na základě poskytnutých dat sledován na stanici Všechny. Nejmenší úbytek vykazuje naopak stanice Fláje, kde došlo za posledních 25 let pouze k mírnému snížení úhrnu srážek.

Souhrnný přehled průměrného dlouhodobého úhrnu srážek na sledovaných stanicích je uveden v tabulce 11.



Obr. 15: Roční celkový úhrn srážek na stanici Všeclapy a Fláje v letech 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 16: Roční celkový úhrn srážek na stanici Janov a Libouchec v letech 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

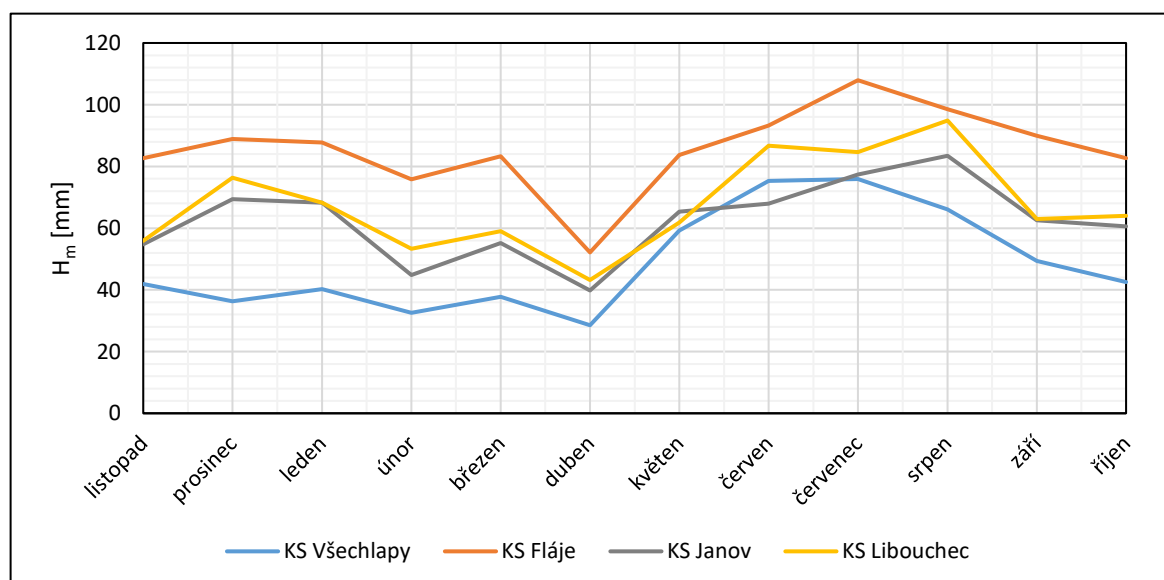
Tab. 11: Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek na stanici Fláje a Všeclapy (1995-2020) a na stanici Janov a Libouchec (2006-2020)
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

srážkoměrná stanice	nadmořská výška stanice [m n. m.]	dlouhodobý průměrný úhrn srážek* [mm]
Všeclapy	216	586 (485)
Libouchec	378	811
Janov	492	749
Fláje	739	1027 (1034)

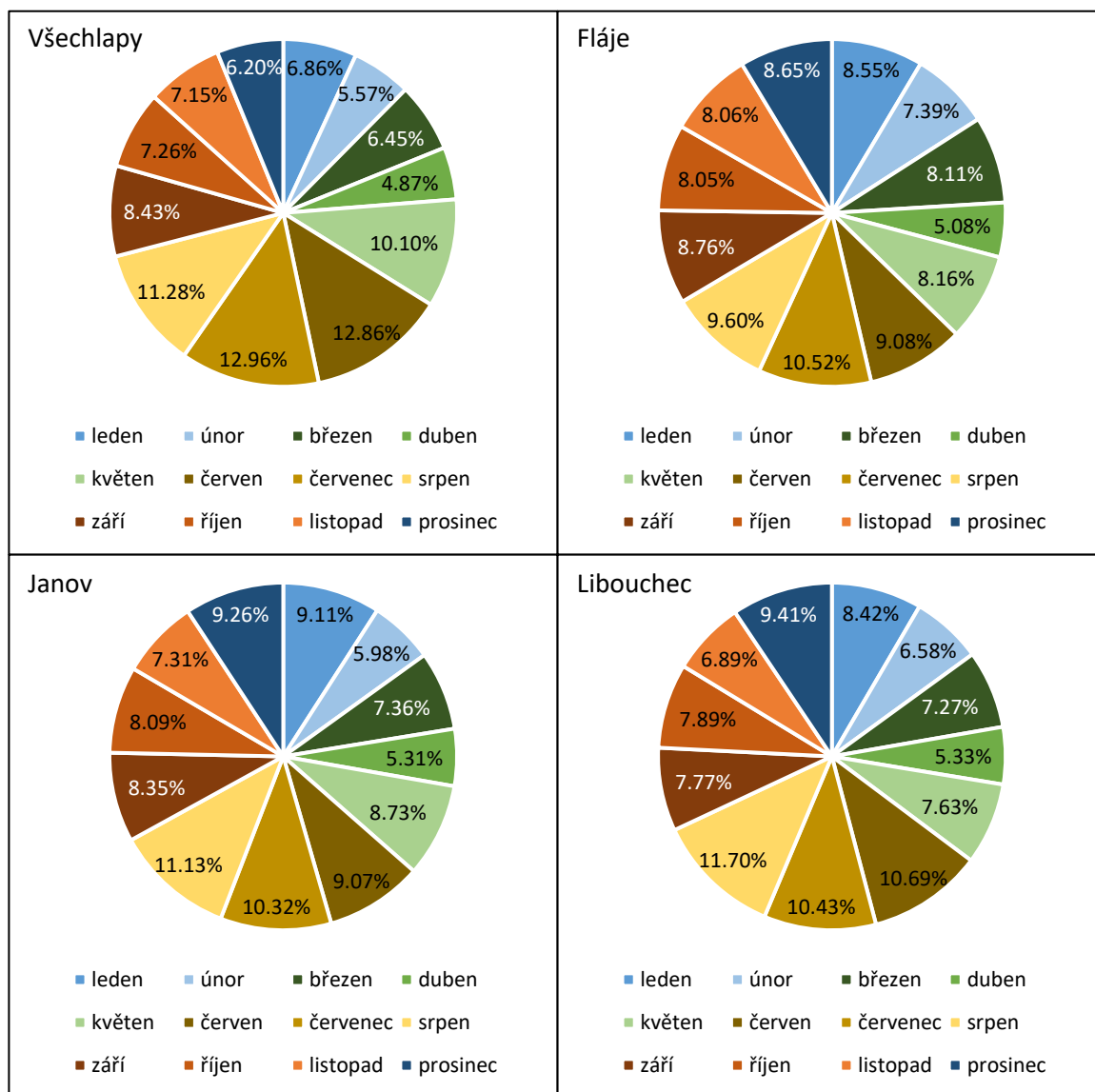
* V závorce jsou uvedeny hodnoty dlouhodobého průměrného ročního úhrnu srážek z let 2006-2020.

Průměrné sumy měsíčních srážek (H_m) na jednotlivých sledovaných klimatických stanicích jsou znázorněny na obrázku 17. Z tohoto obrázku (grafu) je patrná celková rozkolísanost množství srážek během celého roku. Můžeme si povšimnout dosažení dvou maxim. Nejvýrazněji je maximální množství srážek pozorované v letních měsících, a to hned na všech sledovaných stanicích. Druhé maximum je patrné s nástupem zimních a začátkem jarních měsíců s výjimkou února, kdy dochází k celkovému snížení množství srážek. Opačné hodnoty, tedy minimální hodnoty úhrnu srážek, lze pozorovat v dubnu, kdy dochází k výraznému poklesu množství srážek oproti předcházejícímu měsíci. K poklesu množství srážek dochází rovněž i v průběhu podzimních měsíců.

U stanice Všechny pozorujeme nejvyšší letní maximum srážek v červenci (obrázek 18). Oproti ostatním stanicím dochází u klimatické stanice Všechny k poklesu množství srážek s nástupem zimních měsíců. Stanice Fláje má stejně jako předchozí zmíněná stanice zaznamenané maximum srážek rovněž v červenci. K růstu úhrnu srážek následně dochází od konce listopadu do ledna. Maximálních hodnot srážek u stanice Janov je dosaženo o měsíc později, tedy v srpnu. Stejně tak tomu je u stanice Libouchec, u které jsou během letních měsíců dosažena dvě maxima, a to v červnu a v srpnu.

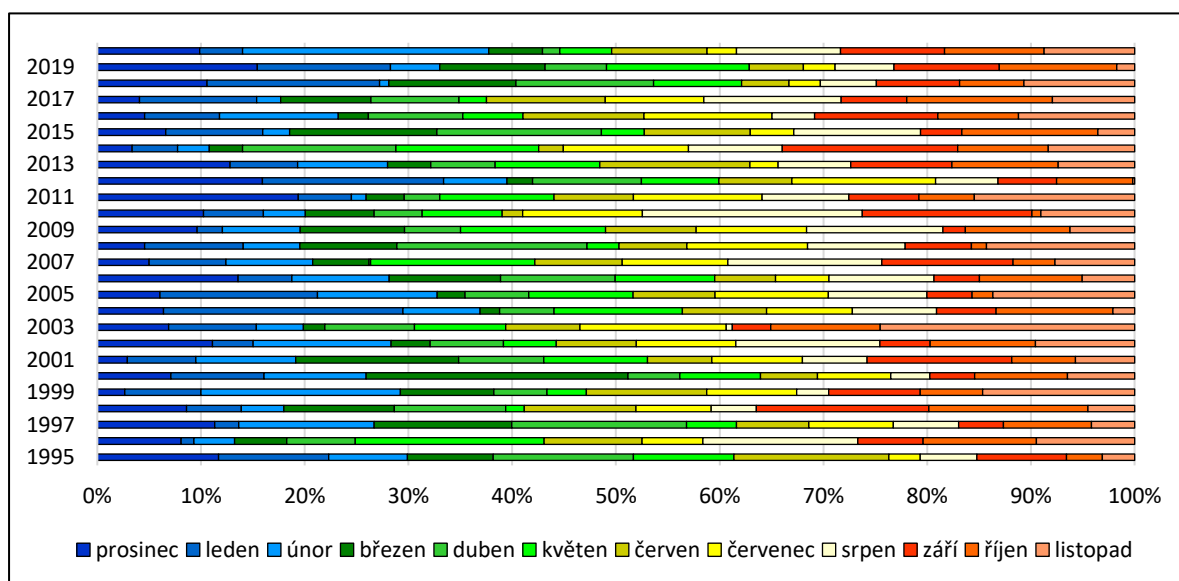


Obr. 17: Roční chod srážek na stanici Všechny, Fláje, Janov a Libouchec z dostupných dat
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

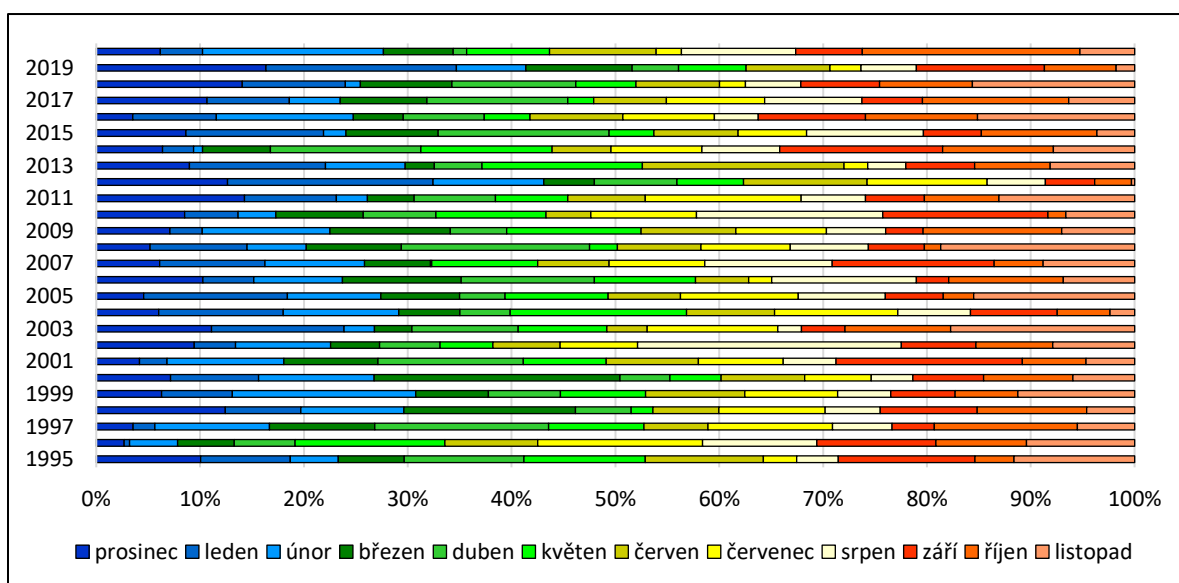


Obr. 18: Měsíční rozložení srážek v % na stanici Všechlapy, Fláje, Janov a Libouchec z dostupných dat
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Na následujících grafech (obrázek 19 a 16) vidíme změny sezónního rozložení srážek na stanicích s nejdelšími kontinuálními časovými řadami měření od roku 1995. Na klimatické stanici Všechlapy (obrázek 19) je v posledních dvou letech snadno pozorovatelný pokles množství srážek v letním období, a naopak nárůst množství srážek v zimním období. Letní srážky tvoří v roce 2018 pouze 20,8 % celkového množství srážek. V roce 2005 letní srážky tvořily dvakrát větší procentuální objem srážek, tedy 41 % z celkového množství ročních srážek naměřených na této stanici. Zbylé roky nevykazují nápadné změny ve variabilitě rozložení množství srážek mezi jednotlivými částmi roku. V rámci podzimního období byl na stanici Všechlapy nejvýznamnější rok 1998, kdy na stanici spadlo 34,7 % celkových srážek. Nejméně významný podzim byl pozorován v roce 2012 s pouhými 12,4 % celkových srážek.



Obr. 19: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Všechny mezi lety 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

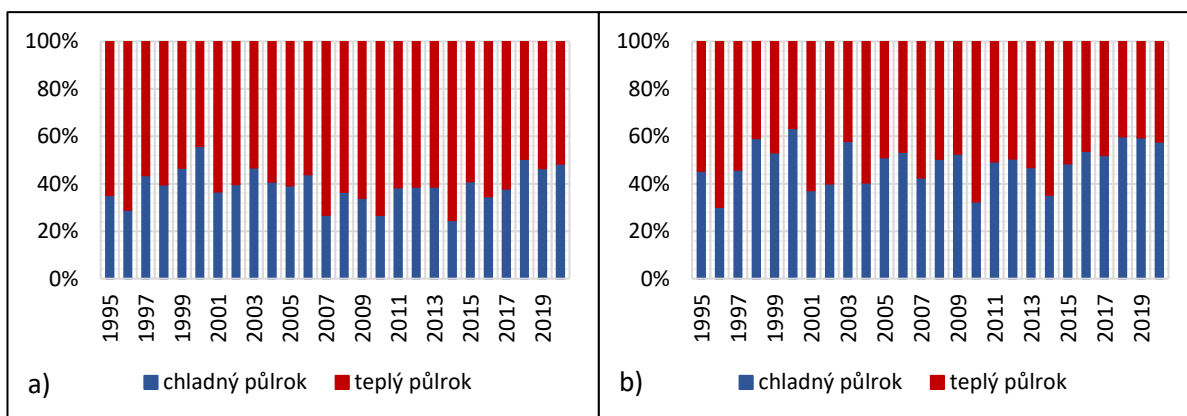


Obr. 20: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Fláje mezi lety 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

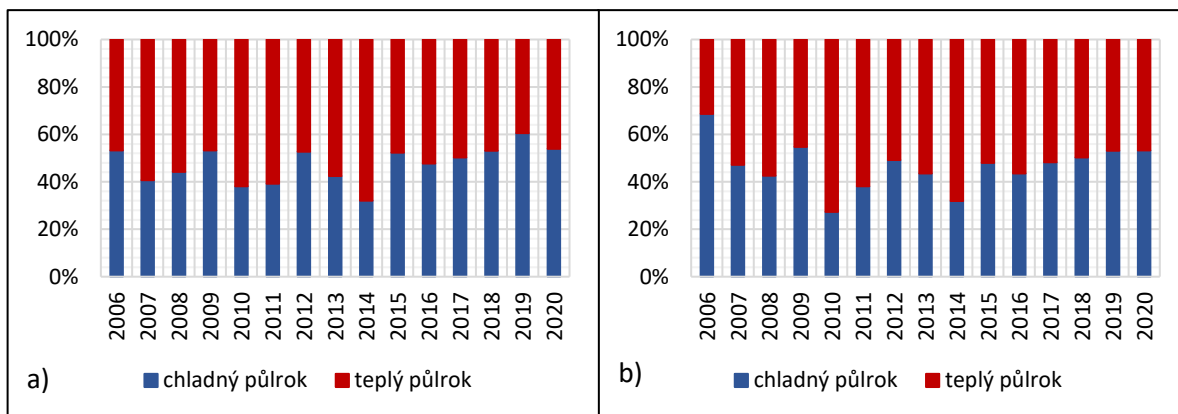
Když se podíváme podrobněji na sezónní rozložení srážek u klimatické stanice Fláje (obrázek 20), můžeme pozorovat poměrně vyrovnané množství srážek v jednotlivých ročních obdobích během zobrazené řady let. Nejvýraznější zimou byla zima roku 2012 s celkovým množstvím 42,3 % srážek. Naopak nejméně srážek spadlo v zimním období v roce 1996 a to pouze 7,2 % z celkového množství srážek. Jarní měsíce se podílely na celkovém srážkovém množství s 36 % nejvíce v roce 2000. Nejméně významné jarní období nastalo o tři roky později v roce 2003, kdy srážky v tomto období představovaly 18,2 % všech srážek. Nejvíce deštivé léto bylo v roce 2002. Srážky v tomto ročním

období tvořily přibližně 44,4 % celkového množství naměřených srážek na stanici Fláje. Stejně jako u stanice Všechny bylo na stanici Fláje nejméně výrazné léto roku 2018, kdy spadlo přibližně 18,6 % srážek. Podzimní měsíce s sebou přinesly nejvíce srážek v roce 2014 (35 %). Nejmenší úhrny srážek za podzimní období byly na stanici Fláje zaznamenány v roce 2012 s pouhým celkovým množstvím 8,6 % srážek.

Vývoj sezónních srážek za chladný (říjen až březen) a teplý (duben až září) půlrok byl u stanic Všechny a Fláje hodnocen pomocí měsíčních průměrných hodnot za roky 1995-2020 (obrázek 21). U stanice Janov a Libouchec byly využity průměrné měsíční hodnoty z let 2006-2020 (obrázek 22). V rámci analýzy dat byl zjištěn u každé sledované stanice vyšší procentuální podíl srážek v teplém půlroce. Největší rozdíl v procentuálním porovnání množství srážek v chladném a teplém půlroce zaznamenala klimatická stanice Všechny, kde na chladný půlrok připadá průměrně 39,3 % srážek a na teplý půlrok 60,7 % srážek. Naopak pouze mírnou rozkolísanost pozorujeme u stanice Fláje, kde na chladný půlrok připadá 48,9 % srážek a na teplý 51,1 %. O necelých 5 % se liší procentuální zastoupení srážek v případě stanice Janov, kde bylo za chladný půlrok zaznamenáno 47,6 % srážek z celkového množství a za teplý půlrok 52,4 %. Stanice Libouchec vykazuje rovněž pouze mírnou rozkolísanost sezónního rozložení srážek. Na chladný půlrok připadá v průměru 46,6 % a na teplý 53,4 % srážek.



Obr. 21: Vývoj sezónních srážek na stanic Všechny (a) a Fláje (b) za období 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 22: Vývoj sezónních srážek na stanici Janov (a) a Libouchec (b) za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Maximální denní úhrny srážek (H_d) z uvedených stanic jsou v k vidění v tabulce 12. Nejvyšší denní úhrn srážek byl zaznamenán 13. 8. 2002 na klimatické stanici Fláje a to 227 mm (hodnota po zaokrouhlení). Ve stejný den byla maximální hodnota úhrnu srážek pozorována i na klimatické stanici Všechny ve výši 99 mm. Dne 1. 6. 2013 bylo na stanici Fláje pozorováno druhé nejvyšší maximum, a to 84 mm. V tento den nebyl maximální úhrn pozorován na žádné jiné námi využívané klimatologické stanici. Ze sledovaného období lze vypořadovat, že maxima byla pozorována spíše v první polovině nám dostupných datových řad srážek.

Tab. 12: Maximální denní úhrny srážek [mm] na stanici Všechny a Fláje (1995-2020) a stanici Janov a Libouchec (2006-2020)
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

datum	meteorologická stanice*			
	Všechny	Fláje	Janov	Libouchec
01.06.2013	15	84	41	50
07.08.2010	29	12	7	73
22.07.2010	42	62	39	54
14.08.2002	17	73	N	N
13.08.2002	99	227	N	N
12.08.2002	2	75	N	N
05.05.2001	79	23	N	N

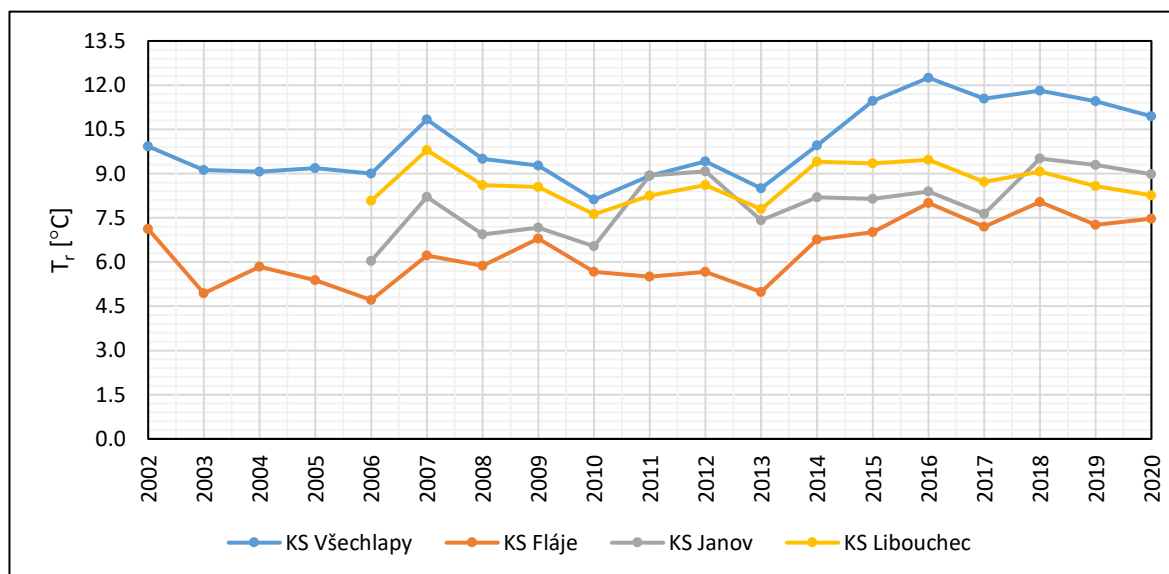
*N = informace o srážkových úhrnech nebyly uvedeny.

7.1.2 Teplotní poměry

Co se týče **průměrných dlouhodobých ročních teplot** (T_r) na jednotlivých stanicích (obrázek 23), můžeme pozorovat postupné zvyšování teploty vzduchu i během relativně krátké časové řady dat, kterou jsme měli k dispozici. Průměrná dlouhodobá teplota vzduchu se na nejnižší položené

meteorologické stanici Všechny za dostupné roky 1995-2020 pohybuje kolem 10 °C. Naopak na nejvýše položené stanici Fláje dlouhodobá průměrná teplota vzduchu (1995-2020) dosahuje hodnoty pouze 6,3 °C. Druhá nejnižší dlouhodobá průměrná teplota vzduchu (2006-2020) byla naměřena na stanici Janov (7 °C). Na klimatologické stanici Libouchec se dlouhodobá průměrná teplota vzduchu (2006-2020) pohybuje kolem 8,7 °C.

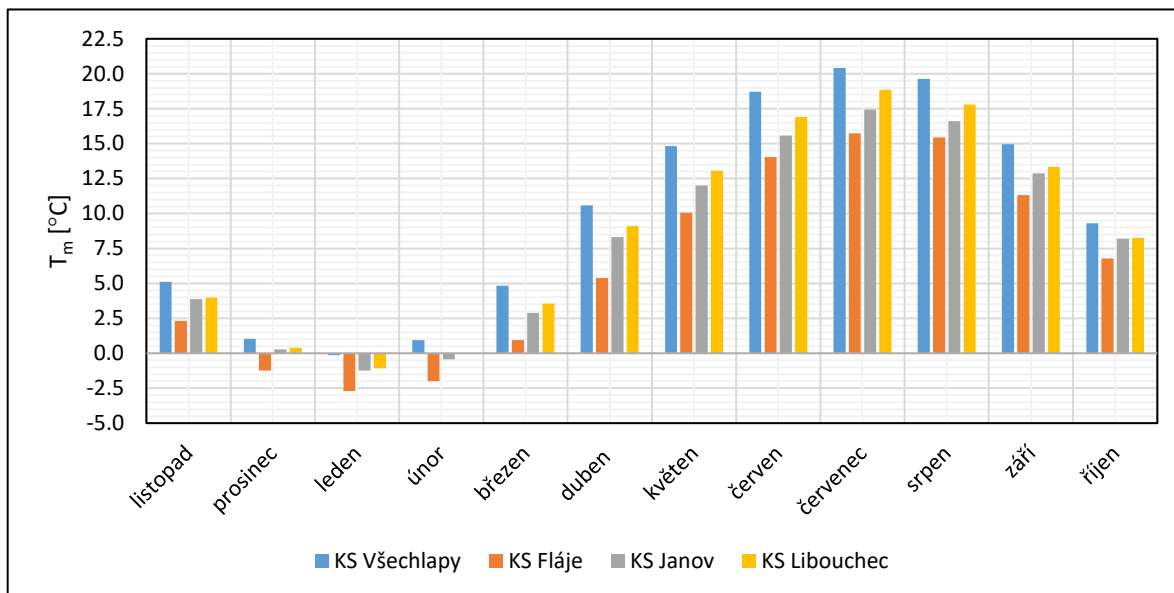
Nejteplejším rokem na stanici Všechny byl rok 2016, kdy se průměrná roční teplota vzduchu pohybovala kolem 12,2 °C. V průměru nejchladněji bylo na stanici Všechny v roce 2010 (8,1 °C). Rok 2016 byl rovněž nejteplejším rokem na stanici Fláje. V tento roce se průměrná roční teplota vzduchu pohybovala kolem 8 °C. O více než 3 °C byl v průměru chladnější rok 2006, kdy se hodnota teploty vzduchu pohybovala kolem 4,7 °C. Na meteorologické stanici Janov byla v roce 2018 průměrná roční teplota vzduchu naměřena s hodnotou 9,5 °C. Nejchladněji bylo stejně jako na stanici Fláje, a to v roce 2006. Tento rok se teplota vzduchu pohybovala v průměru po zaokrouhlení kolem 6 °C. Poslední nezmíněnou stanicí je klimatická stanice Libouchec, kde byla nejvyšší roční průměrná teplota vzduchu naměřena v roce 2007. Nejnižší teplota vzduchu pak byla na této stanici naměřena s hodnotou 7,6 °C o tři roky později v roce 2010.



Obr. 23: Roční chod teploty vzduchu na Všechny, Fláje, Janov a Libouchec z dostupných dat
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Sloupkový graf 24 nám ukazuje **dlouhodobé průměrné měsíční teploty vzduchu** (T_m) na stanicích Všechny, Fláje, Janov a Libouchec během dostupné řady let. Oproti grafu ročního chodu srážek na jednotlivých klimatických stanicích (viz obrázek 17) je u tohoto grafu patrné dosažení pouze jednoho maxima za celý rok. Nejvyšší průměrná měsíční teplota vzduchu byla na všech stanicích naměřena v červenci. Nejnižší průměrné teploty vzduchu pak byly u všech stanic

naměřeny vždy v lednu. Měsíc leden je zároveň jediný měsíc, kdy na všech stanicích klesá teplota vzduchu pod bod mrazu. Z obrázku 24 je jasně patrné ovlivnění teploty vzduchu nadmořskou výškou, ve které je stanice umístěna. Na dvou nejvýše položených stanicích (Fláje, Janov) jsou průměrné teploty vzduchu o několik stupňů nižší v průběhu celého roku. Rozdíly mezi jednotlivými stanicemi jsou pak nejvíce patrné v období letních měsíců.



Obr. 24: Dlouhodobé průměrné měsíční teploty vzduchu na stanicích Všechny, Fláje, Janov a Libouchec z dostupných dat
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

7.2 Charakteristika odtokových poměrů

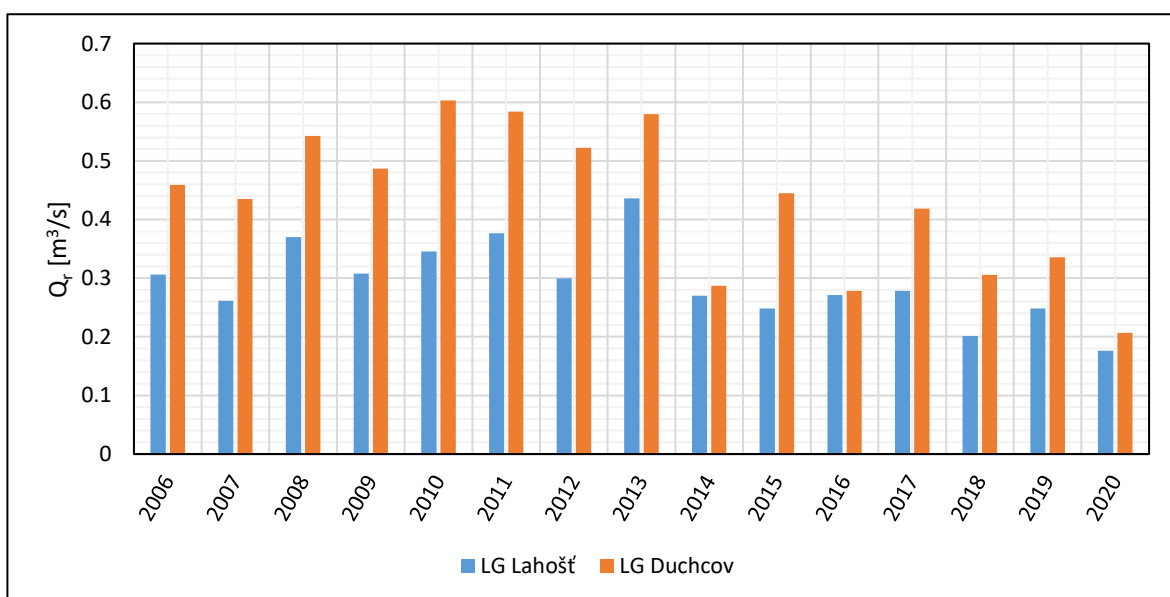
Odtokové poměry v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce byly analyzovány na základě variability průměrných denních průtoků z hlásného profilu Duchcov na Loučenském potoce a Lahošť na Bouřlivci.

Průměrné roční průtoky (Q_r) za celé sledované období na obou limnigrafických profilech zobrazuje obrázek 24. Na základě námi dostupných datových řad, tj. od roku 2006 do roku 2020, byla hodnota dlouhodobého průměrného průtoku (Q) stanovena na limnigrafickém profilu Loučenský potok - Duchcov $0,431 \text{ m}^3/\text{s}$ a na profilu Bouřlivec - Lahošť $0,297 \text{ m}^3/\text{s}$. Z hlediska průměrných ročních průtoků bylo absolutní minimum na profilu Duchcov i Lahošť zaznamenáno v roce 2020, kdy průtok dosahoval na profilu Duchcov pouze hodnoty $0,207 \text{ m}^3/\text{s}$, tj. přibližně dvakrát méně oproti průměrnému dlouhodobému průtoku z let 2006-2020. Za málo vodné lze považovat rovněž roky 2014, 2016, 2017, 2019 a 2020 (tabulka 14). Na profilu Lahošť byl v roce 2020 zaznamenán průměrný roční průtok pouze $0,176 \text{ m}^3/\text{s}$. Od roku 2014 do roku 2020 pak na

tomto limnigrafickém profilu hodnoty průměrného ročního průtoku nepřesahují 0,28 m³/s. Maximálního říčního průtoku bylo na profilu Duchcov dosaženo v roce 2013, kdy hodnota průměrného ročního průtoku dosahovala 0,580 m³/s. Na profilu Lahošť bylo maximálního průměrného ročního průtoku dosaženo v roce 2010 s hodnotou 0,603 m³/s, což představuje přibližně dvakrát větší průtok, než je průměrný dlouhodobý průtok z let 2006-2020. Přehled průměrných ročních hodnot průtoku je uveden v tabulce 13 (červeně jsou zvýrazněny hodnoty průtoku pod dlouhodobým průměrem z let 2006-2020). Zajímavé je rovněž porovnání průměrných ročních průtoků v letech 2014 a 2016, kdy si jsou hodnoty průměrného ročního průtoku na obou profilech velice podobné. To může být způsobeno antropogenní činností ovlivňující odtokový režim obou povodí.

Tab. 13: Hodnoty průměrných ročních průtoků a průměrného dlouhodobého průtoku [m³/s] na profilu Lahošť (Bouřlivec) a na profilu Duchcov (Loučenský potok) za hydrologické období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

rok	Lahošť	Duchcov	rok	Lahošť	Duchcov
2006	0,306	0,459	2014	0,270	0,287
2007	0,261	0,435	2015	0,248	0,445
2008	0,370	0,543	2016	0,271	0,278
2009	0,308	0,487	2017	0,278	0,419
2010	0,345	0,603	2018	0,201	0,306
2011	0,376	0,584	2019	0,248	0,335
2012	0,300	0,522	2020	0,176	0,207
2013	0,436	0,580	Q_a (2006-2020)	0,297	0,431



Obr. 25: Hydrogram průměrných ročních průtoků na profilu Duchcov a Lahošť za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Tab. 14: Pravděpodobnost překročení průměrných ročních průtoků na profilu Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

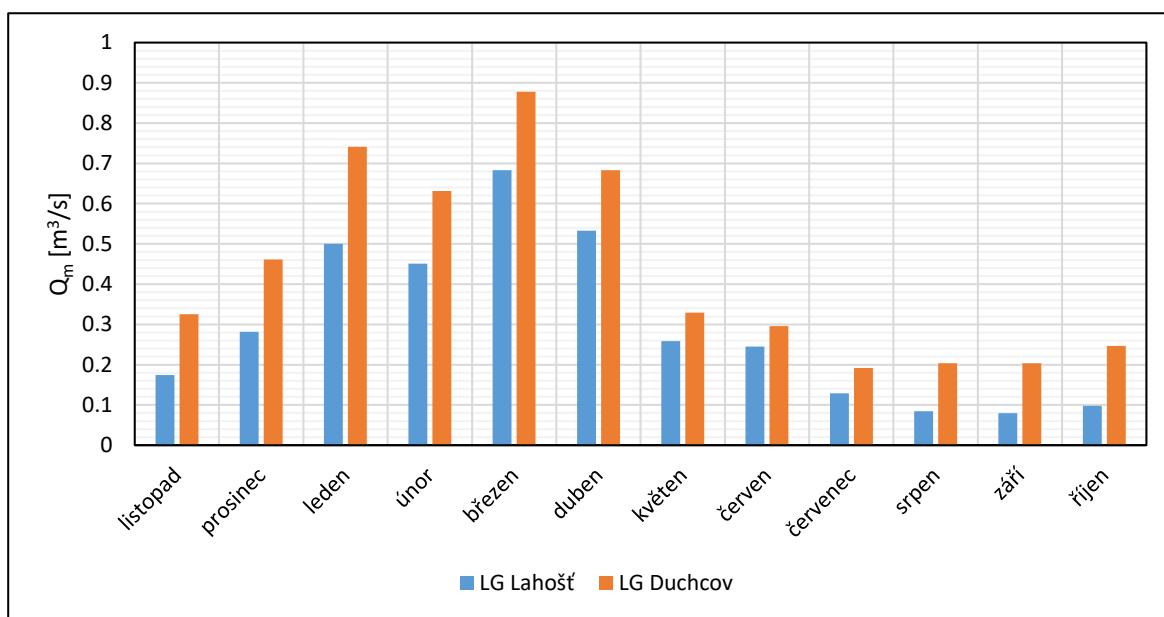
Lahošť – Bouřlivec				Duchcov – Loučenský potok			
rok	Q _r (m ³ /s)	P _i (%)	vodnost*	rok	Q _r (m ³ /s)	P _i (%)	vodnost*
2006	0,306	37,01	V	2006	0,459	43,51	P
2007	0,261	69,48	S	2007	0,435	56,49	P
2008	0,370	17,53	V	2008	0,543	24,03	V
2009	0,308	30,52	V	2009	0,487	37,01	V
2010	0,345	24,03	V	2010	0,603	4,55	MV
2011	0,376	11,04	V	2011	0,584	11,04	V
2012	0,300	43,51	P	2012	0,520	30,52	V
2013	0,436	4,55	MV	2013	0,580	17,53	V
2014	0,270	62,99	S	2014	0,287	82,47	S
2015	0,248	75,97	S	2015	0,445	50,00	P
2016	0,271	56,49	P	2016	0,278	88,96	S
2017	0,278	50,00	P	2017	0,419	62,99	S
2018	0,201	88,96	S	2018	0,306	75,97	S
2019	0,248	82,47	S	2019	0,335	69,48	S
2020	0,176	95,45	MS	2020	0,207	95,45	MS

*Klasifikace vodnosti roků podle p %:

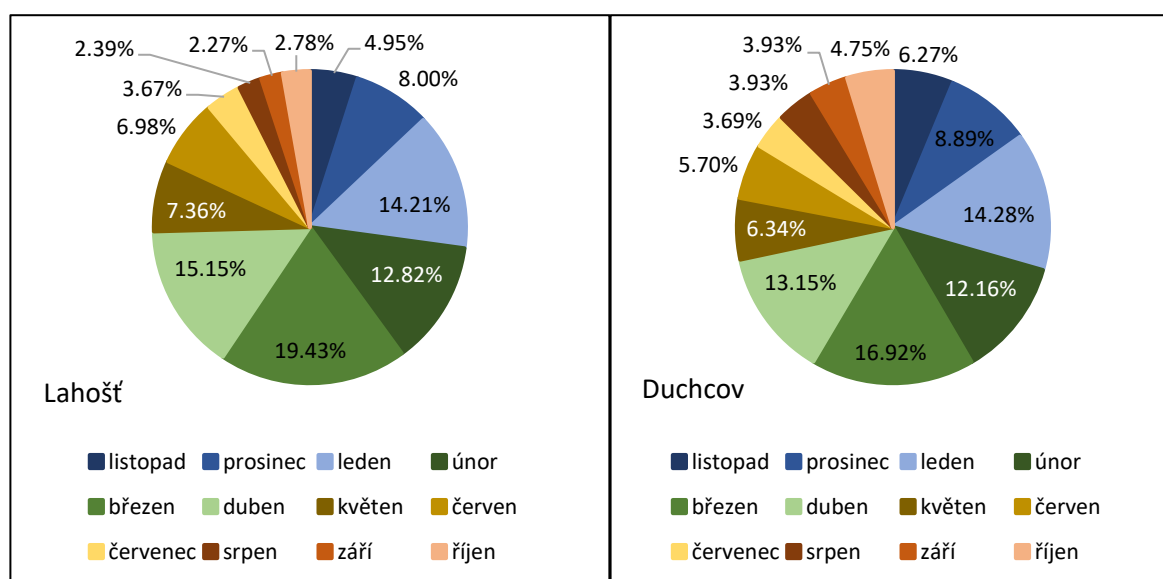
p %	míra vodnosti toku		p %	míra vodnosti toku	
0-10	mimořádně vodný rok	MV	61-90	málo vodný rok	S
11-40	vodný rok	V	91-100	mimořádně málo vodný rok	MS
41-60	průměrně vodný rok	P			

Průměrné měsíční průtoky (Q_m) byly vypočteny na základě průměrných denních průtoků pro oba limnigrafy (obrázek 26). Rozložení průtoků během roku je poměrně nevyrovnané. V první polovině hydrologického roku pozorujeme vyšší průtoky než v části druhé. Maxima je na obou limnigrafických profilech dlouhodobě dosahováno v březnu, v období tání sněhové pokrývky. Průměrný průtok na profilu Lahošť je v tomto měsíci 0,68 m³/s, což procentuálně odpovídá 19,43 % celkového ročního odtoku. Na profilu Duchcov březnový průtok dosahuje průměrné hodnoty 0,88 m³/s, tj. 16,92 % celkového ročního odtoku. Pro přehlednější představu o rozložení průtoků v rámci jednotlivých měsíců bylo využito procentuální zastoupení měsíců na ročním odtoku. Podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku pro oba zájmové profiley ukazuje obrázek 27. Procentuální znázornění výsledků nám potvrzuje výsledky absolutních hodnot uvedených v předchozím obrázku 26. Začátkem letních měsíců poklesne průtok na obou limnigrafických stanicích pod hodnotu 0,3 m³/s, resp. na profilu Lahošť se dlouhodobý průměrný měsíční průtok

v červnu pohybuje na hodnotě 0,245 m³/s a na profilu Duchcov 0,296 m³/s. Nejméně vodným měsícem zaznamenaným na profilu Lahošť je září s hodnotou 0,08 m³/s, což je pouhých 2,27 % celkového ročního odtoku. Ačkoliv bývá nejnižších odtokových hodnot dosahováno zpravidla s nástupem podzimních měsíců, a to v důsledku dlouhodobého většího nedostatku srážek, které by byly schopny dotovat tok vodou, na profilu Duchcov je nejméně vodným měsícem červenec, kdy hodnota dlouhodobého měsíčního průtoku odpovídá 0,19 m³/s, což je o 0,69 m³/s méně než v březnu. To je nejspíše způsobeno relativně krátkou časovou řadou zahrnující z velké části pouze suchá období.

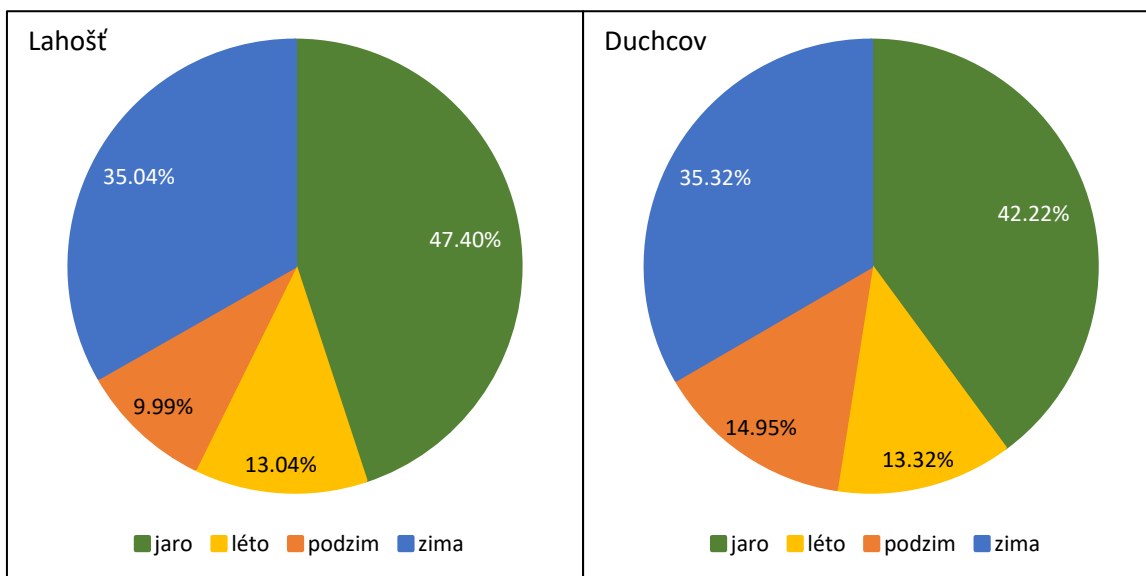


Obr. 26: Dlouhodobé průměrné měsíční průtoky na profilu Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 27: Podíl měsíců na celkovém ročním odtoku pro profil Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Obrázek 28 znázorňuje odtokový režim z hlediska chodu čtyř ročních období. Jaro je zastoupeno měsíci březen, duben a květen, léto měsíci červen, červenec, srpen, podzim vyjadřuje zastoupení měsíců září, říjen, listopad a zima je charakterizována měsíci prosinec, leden a únor. Můžeme si povšimnout značné variability odtoku v rámci celého roku. Nejvyšší odtok je pozorován v obou povodích na jaře. Procentuálně tvoří jarní odtok v povodí Loučenského potoka (profil Duchcov) 42,22 % ročního odtoku. Jarní odtok v povodí Bouřlivce (profil Lahošť) tvoří 47,40 % ročního objemu odtoku.

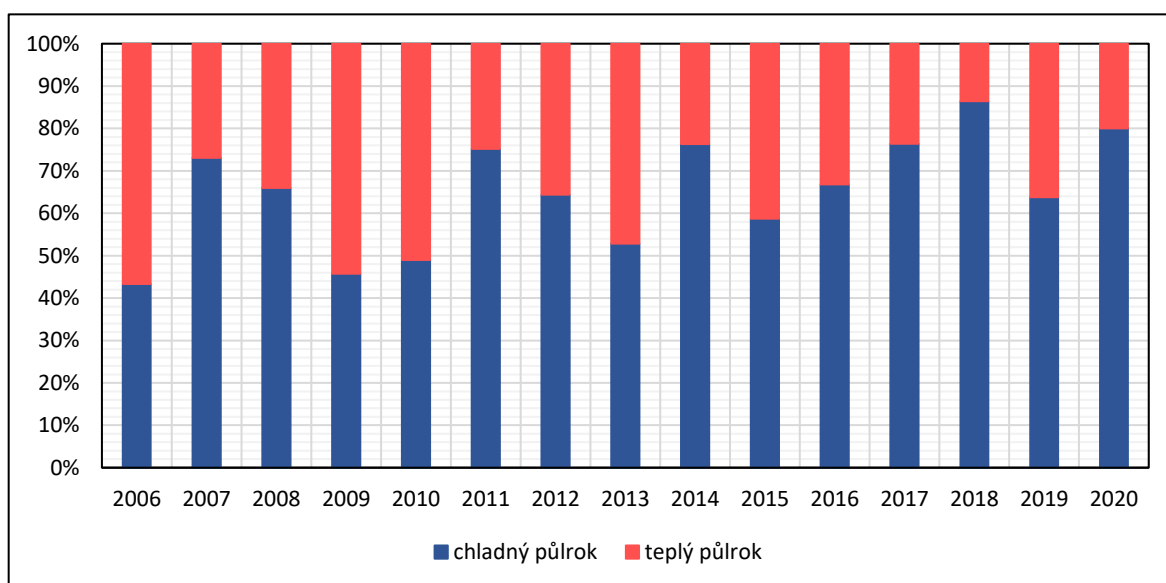


Obr. 28: Podíl ročních období na ročním objemu odtoku pro profily Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

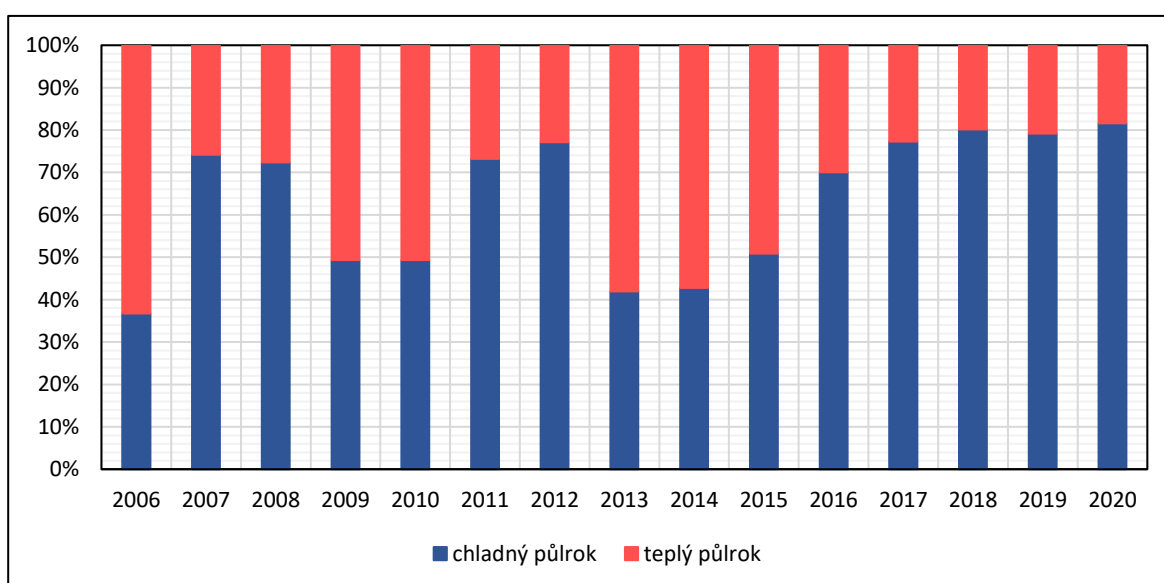
V obou případech je zdrojem vodnosti již zmiňované tání sněhové pokrývky, neboť z analýzy srážek vyplývá, že nejvíce srážek v povodí Bouřlivce a okolí spadne v letních měsících. Vysoké podíly odtoku vykazují u obou povodí rovněž zimní měsíce. V případě profilu Duchcov je rozdíl mezi zimním a jarním odtokem pouze 1,63 %. Naopak nejméně vodným obdobím je v případě povodí Loučenského potoka léto (13,32 % celkového odtoku), v případě povodí Bouřlivce je to podzim (9,99 % sezónního odtoku).

Obrázek 29 a 30 zobrazuje vývoj podílu chladného a teplého půlroku na celkovém odtoku na profilu Lahošť a Duchcov. Z grafů můžeme vypořizovat velkou variabilitu odtoku, ačkoliv větší procento odtoku připadá u obou profilů na chladný půlrok, což lze považovat za obvyklý jev hlavně u níže položených vodoměrných stanic. V letech 2006, 2009 a 2010 pozorujeme na profilu Duchcov převahu odtoku v letních měsících. Stejně tak tomu je na profilu Lahošť, kde převažoval odtok v letních měsících i v letech 2013 a 2014. Především v posledních pěti letech, tj. od roku 2016, pozorujeme zvýšený nárůst odtoku v chladných měsících (říjen až březen), což může být způsobeno zvýšenou teplotou vzduchu a následným odparem s minimální dotací koryt toku, neboť zvýšený

podíl srážek u nejbližší stanice Všechny byl pozorován právě v teplém půlroce. Na chladný půlrok připadá na profilu Lahošť za období 2016-2020 v průměru 63,7 % odtoku. Dlouhodobý průměrný odtok (2006-2020) za teplý půlrok na stanici Lahošť představuje 36,3 % ročního odtoku. Na profilu Duchcov odtok v chladných měsících za období 2016-2020 odpovídá 65,2 %. Dlouhodobý průměrný průtok v teplém půlroce za období 2006-2020 na profilu Duchcov odpovídá 34,8 % ročního odtoku. V rámci obou profilů se odtok v chladných a teplých měsících v posledních letech (2006-2020) výrazně nemění se značnou převahou odtoku v chladném půlroce v poměru přibližně 65:35.



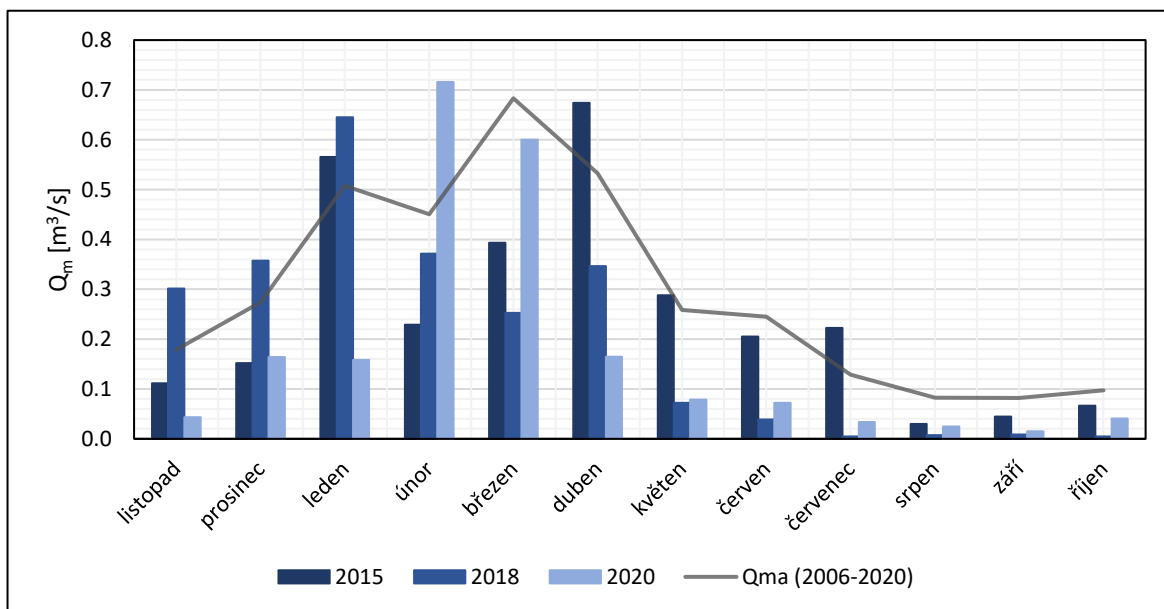
Obr. 29: Vývoj chladného a teplého půlroku na ročním odtoku na profilu Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



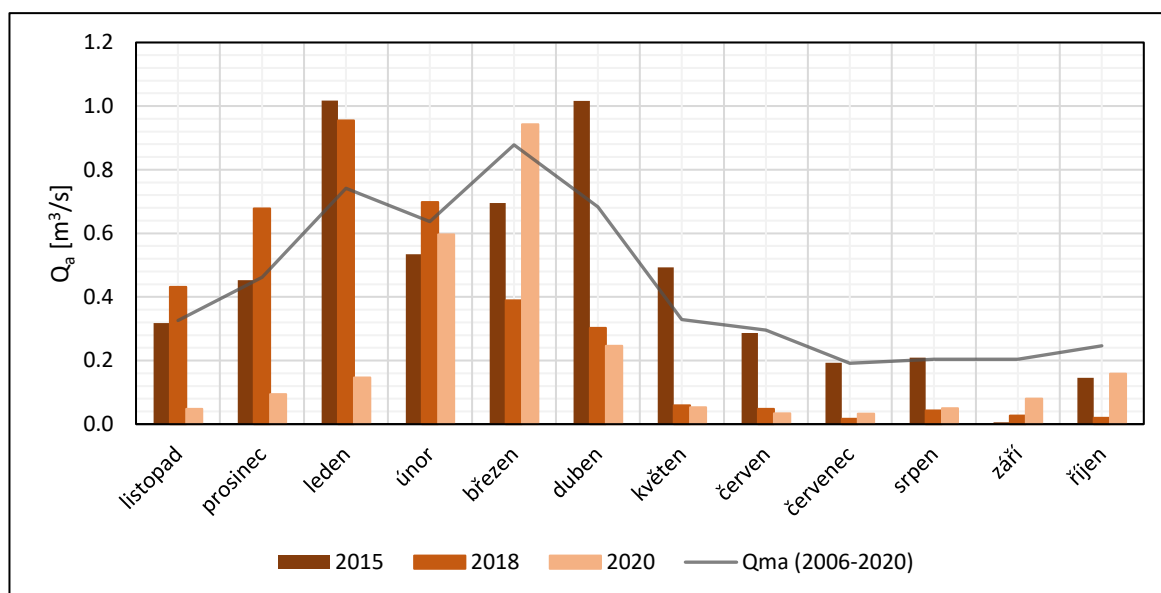
Obr. 30: Vývoj chladného a teplého půlroku na ročním odtoku na profilu Lahošť za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Obrázek 31 zobrazuje průběh odtoku ve vybraných letech 2015, 2018 a 2020 pro profil Lahošť na Bouřlivci. Důvodem této vizualizace je přiblížení čtenáři velikost odtoku v posledních několika letech a jejich vzájemné porovnání. Nadprůměrné měsíční hodnoty průtoku byly pozorovány především v zimních a jarních měsících v letech 2015 a 2018. Jediným nadprůměrným měsícem v roce 2020 byl únor. V ostatních měsících tohoto roku se průměrné měsíční průtoky držely hluboko pod hodnotou dlouhodobého měsíčního průměru (Q_{ma}).

Porovnání průměrného měsíčního průtoku v letech 2015, 2018 a 2020 bylo provedeno i na profilu Duchcov na Loučenském potoce (obrázek 32). Na tomto profilu můžeme rovněž pozorovat nadprůměrné hodnoty měsíčních průtoků, a to v zimních a letních měsících v roce 2015 a 2018. Jediný měsíc s průměrným průtokem vyššími než průměrný dlouhodobý měsíční průtok v roce 2020 byl měsíc březen. Stejně, jako na profilu Lahošť se hodnoty průměrných měsíčních průtoků po zbytek roku držely pod hodnotou dlouhodobého průměrného měsíčního průtoku (Q_{ma}).

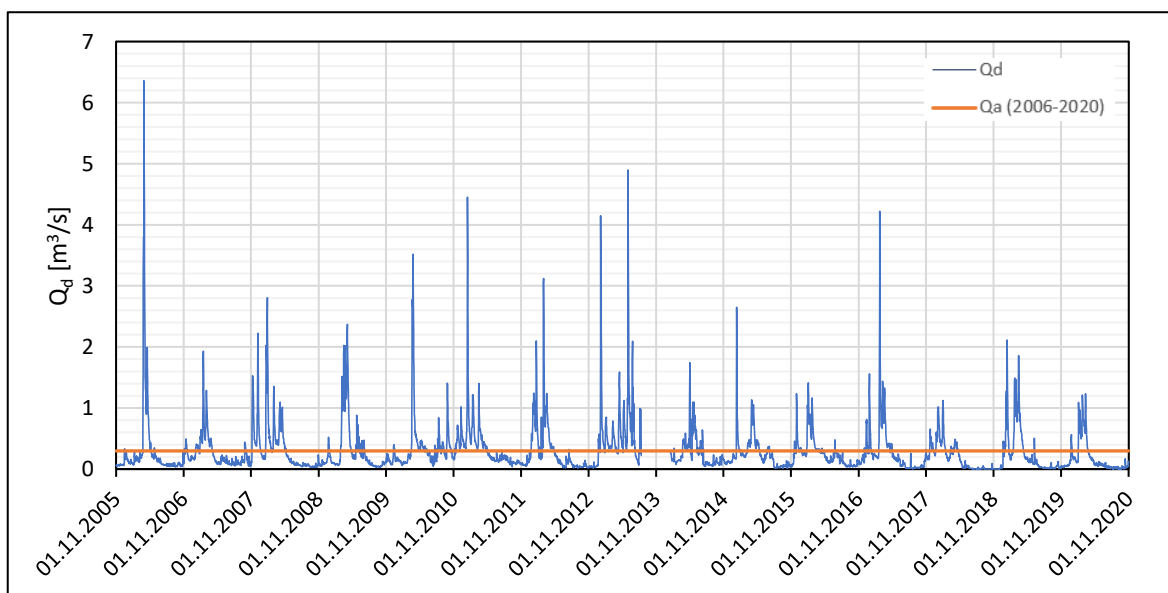


Obr. 31: Průměrné měsíční průtoky na profilu Lahošť v letech 2015, 2018 a 2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 32: Průměrné měsíční průtoky na profilu Duchcov v letech 2015, 2018 a 2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

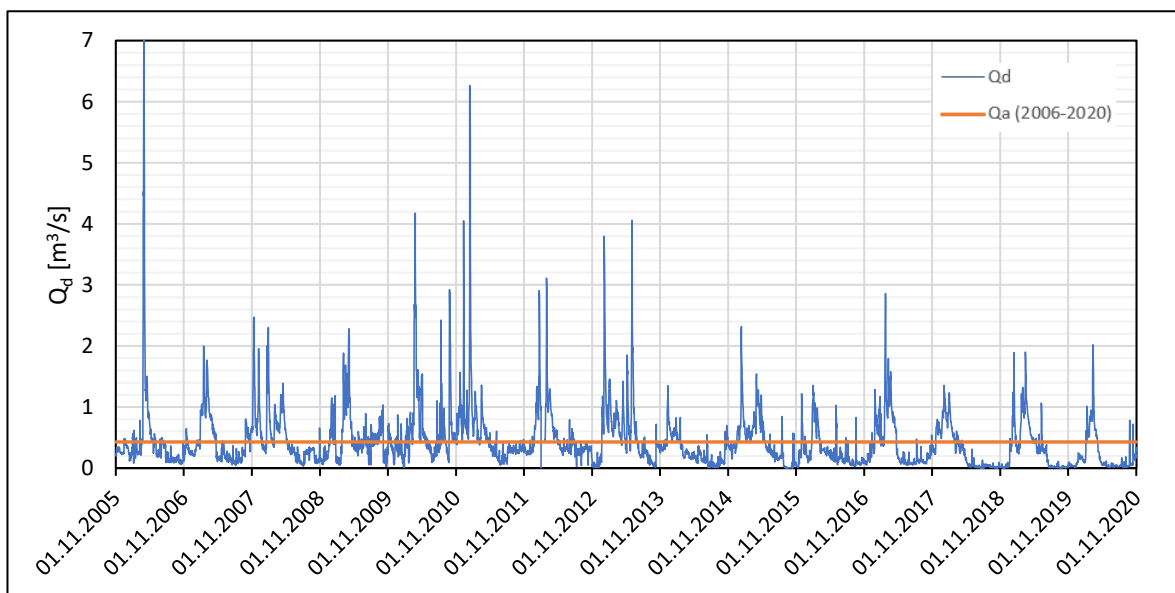
Chod **průměrných denních průtoků** (Q_d) během sledovaného období 2006-2020 je znázorněn obrázkem 33 pro limnigrafickou stanici Lahošť na Bouřlivci a obrázkem 34 pro limnigrafickou stanici Duchcov na Loučenském potoce. Při pohledu na oba grafy je na první pohled patrný pokles rozkolísanosti průtoků s nástupem epizody hydrologického sucha přibližně v roce 2014. Největší rozkolísanost průměrných denních průtoků byla pozorována v letech 2010-2013.



Obr. 33: Denní průměrné průtoky na profilu Lahošť za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Jak již bylo zmíněno, dlouhodobý průměrný průtok (2006-2020) pro profil Lahošť je roven hodnotě $0,297 \text{ m}^3/\text{s}$ a pro profil Duchcov $0,431 \text{ m}^3/\text{s}$. Absolutního denního minima bylo na profilu Lahošť dosaženo po několik dní v roce 2018. Především ve druhé polovině roku v měsících červenec, srpen, září, říjen a listopad, kdy klesl v několika dnech průměrný průtok pod hodnotu $0,5 \text{ l/s}$. Koncem října a začátkem listopadu roku 2018 byl po několik dní naměřen nulový průtok, resp. nebyla zaznamenána hladina vody v korytě v místě limnigrafu. Absolutní denní maximum bylo na profilu Lahošť naměřeno 31. 3. 2006, kdy průměrný denní průtok dosáhl hodnoty $6,36 \text{ m}^3/\text{s}$.

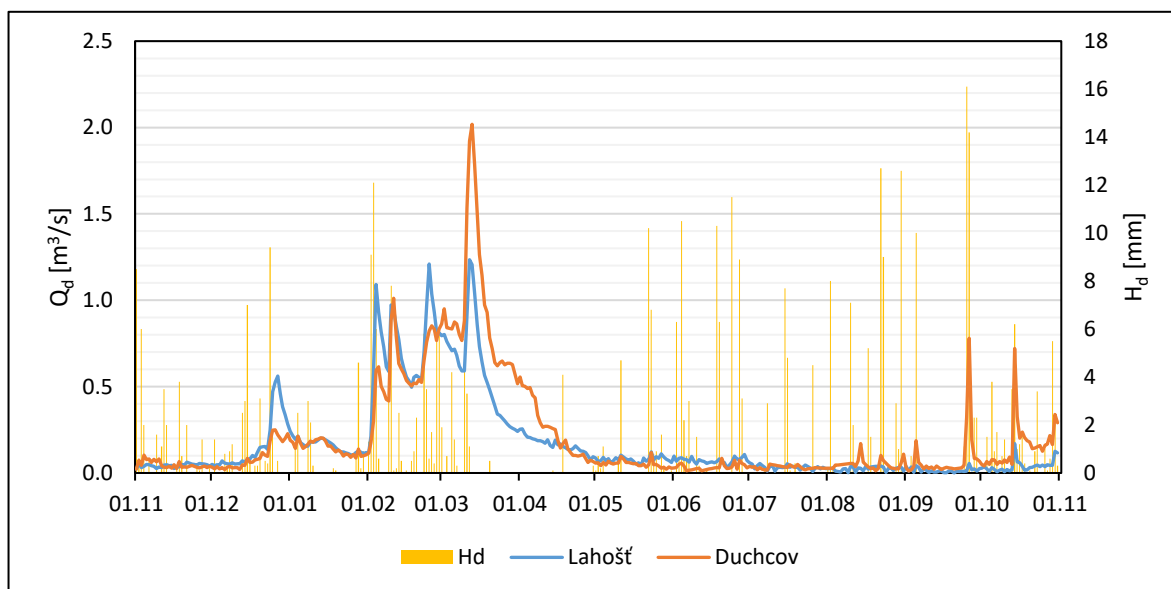
Minimální průměrné denní průtoky byly na profilu Duchcov naměřeny rovněž v roce 2018, a to v měsících červenec a listopad, kdy průtok po několik dní poklesl pod hodnotu $0,5 \text{ l/s}$. Pokles průtoků pod $0,5 \text{ l/s}$ byl na Bouřlivci pozorován rovněž po několik dní v měsíci září v roce 2015. Na profilu Duchcov bylo absolutní denní maximum naměřeno ve stejný den, jako na profilu Lahošť, tj. 31. 3. 2006 s hodnotou $7,14 \text{ m}^3/\text{s}$.



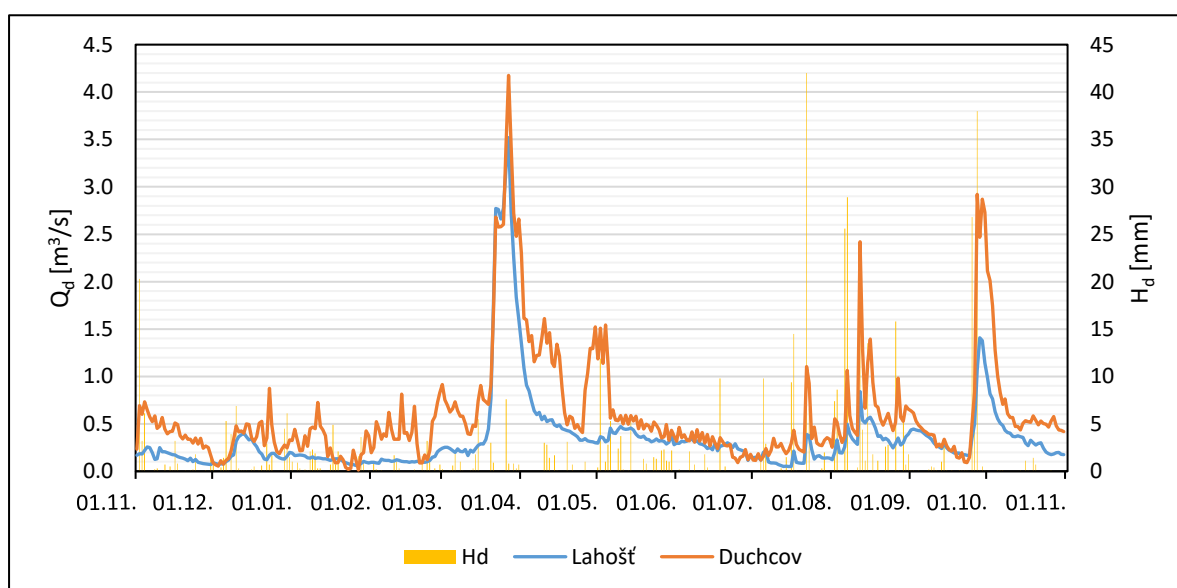
Obr. 34: Denní průměrné průtoky na profilu Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Pro představu průběhu odtoku během vodného až mimořádně vodného roku byl vybrán rok 2010 (obrázek 35). Mimořádně málo vodným rokem byl rok 2020, a to na profilu Lahošť i Duchcov (viz tabulka 14 výše). V roce 2010 si můžeme povšimnout značné rozkolísanosti průtoků, především pak na profilu Loučenského potoka, resp. na profilu Duchcov, kde je nevyrovnanost průtoků jasně patrná. Největšího průtoků bylo v roce 2010 dosaženo během konce března a začátku dubna. V roce 2020 je již viditelný posun vzrůstajícího průtoků do dřívějšího období, což je nejspíše zapříčiněno dřívějším táním sněhové pokrývky a zvýšeným výskytem srážek. Největší průtok v roce 2020 byl na obou profilech zaznamenán v polovině března.

Průtok na Bouřlivci (profil Lahošť) vykazuje v roce 2020 během měsíců únor a březen postupný, i když do jisté míry rozkolísaný nárůst průtoku, který se pohybuje pod hodnotou $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. V obrázku 35 si můžeme povšimnout třech maxim, kterých bylo během měsíců únor a březen dosaženo. V roce 2010 (obrázek 36) je viditelné pouze jedno zvýšení průtoku, které vykresluje dosažení maximální hodnoty naměřené v tomto roce. V roce 2010 byl na profilu Lahošť naměřen průměrný roční průtok $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$. O deset let později, tj. v roce 2020 byl průměrný roční průtok dvakrát menší, a to $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$. Na profilu Duchcov byl v roce 2010 průměrný roční průtok $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$, v roce 2020 průměrný roční průtok poklesl na hodnotu $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$, což je přibližně třikrát nižší průtok, než v roce 2010.



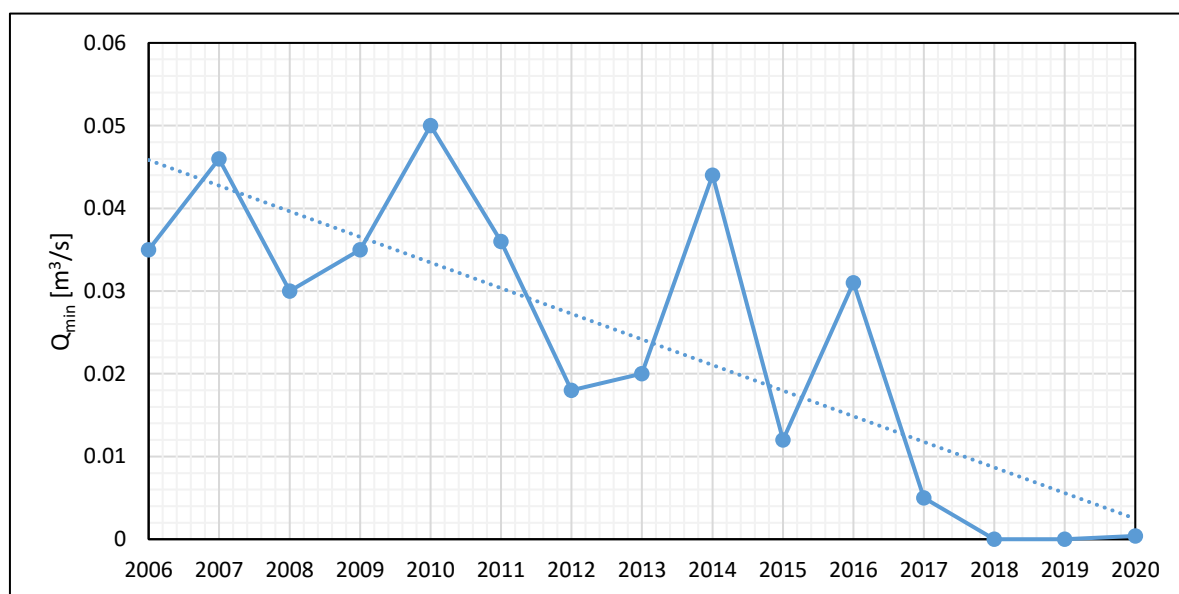
Obr. 35: Chod průměrných denních průtoků na profilu Lahošť a Duchcov v hydrologickém roce 2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



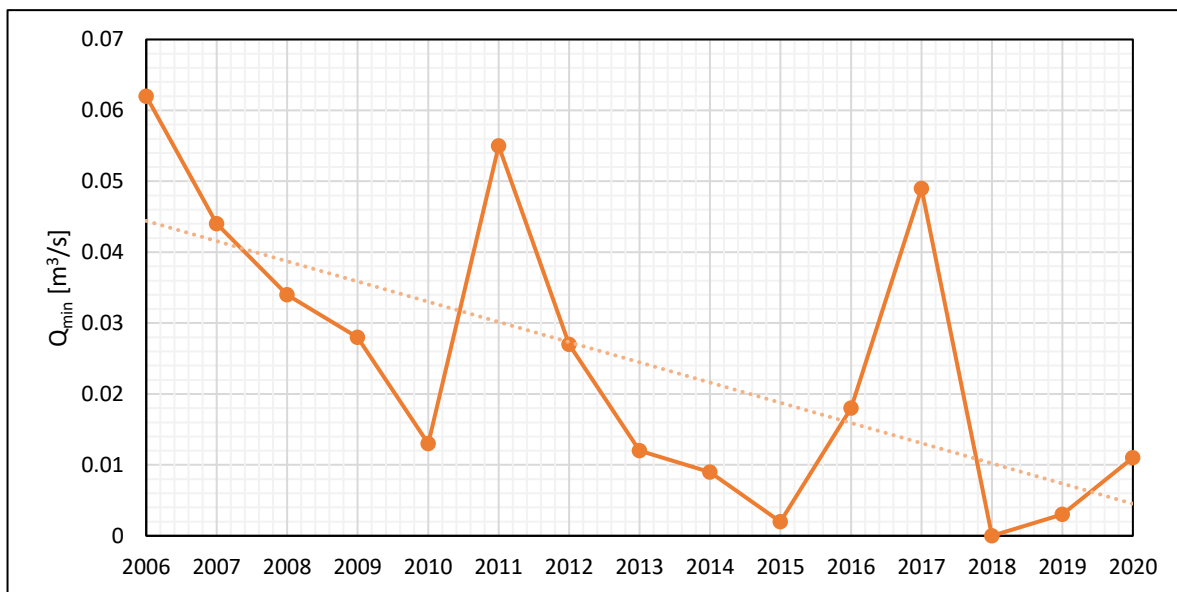
Obr. 36: Chod průměrných denních průtoků na profilu Lahošť a Duchcov v hydrologickém roce 2010
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Na základě průměrných denních průtoků byl dále analyzován výskyt jednodenních minim a maxim. Absolutní minima každého sledovaného hydrologického roku byly stanoveny pomocí metody Gumbel 63 (1963), která se řadí mezi metody charakterizující hydrologické sucho na základě určení absolutně nejnížší hodnoty průměrného denního průtoku v daném hydrologickém roce. Tato metoda sice poukáže na nejmenší průtok, který byl v daný hydrologický rok naměřen, nicméně hodnota tohoto minima nemusí podle jiných kritérií (např. prahové hodnota) vyhovovat parametrům „suchého“ dne. Tudiž rok (popř. měsíc), který je dle této metody určen jako nejvíc zasažený minimálním průtokem, nemusí na základě jiné analýzy vykazovat žádné projevy sucha (Vlach 2019). S minimálními denními průtoky pracuje například i index hydrologického sucha – Low flow index (LFI), který je dán poměrem minimálního denního průtoku a průměrného ročního průtoku (Poff, Ward 1989).

Obrázek 37 a 38 zobrazuje chod minim za celé pozorované období. Pomocí sestrojené lineární spojnice trendu si zároveň můžeme povšimnout klesajícího trendu velikosti průměrných denních průtoků. V případě limnigrafu Lahošť byly nejnížší absolutní průtoky zaznamenány v posledních třech letech (2018, 2019 a 2020). U limnigrafu Duchcov pozorujeme vůbec nejnížší absolutní průtoky rovněž v roce 2018 a 2019. Co se absolutních minimálních průtoků na profilu Duchcov týče, tak rok 2020 svojí hodnotou nepředčil rok 2015. I tak se rok 2020 řadí mezi roky s výskytem absolutně nejnížšího průtok za námi pozorované období.



Obr. 37: Hodnoty ročních minim na profilu Lahošť v pozorovaných letech 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 38: Hodnoty ročních minim na profilu Duchcov v pozorovaných letech 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Zatímco absolutní minima pozorujeme většinou ve druhé polovině roku, absolutní maxima se vyskytují ve větší míře v první polovině roku. Absolutně nejvyšší hodnota průměrného denního průtoku byla na obou limnigrafických profilech naměřena 31. 3. 2006 s hodnotami 6,36 m³/s a 7,38 m³/s (tabulka 15).

Tab. 15: Extrémní hodnoty (absolutně maximální hodnoty) průměrných denních průtoků v letech 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Lahošť – Bouřlivec	
den	nejvyšší hodnoty (m³/s)
31.03.2006	6,36
02.06.2013	4,90
15.01.2011	4,45
23.02.2017	4,22
27.03.2010	3,52

Duchcov – Loučenský potok	
den	nejvyšší hodnoty (m³/s)
31.03.2006	7,38
15.01.2011	6,19
27.03.2010	4,18
03.06.2013	4,06
01.03.2012	3,11

Pomocí denních průměrných průtoků byla také sestrojena i křivka překročení (obrázek 39), vyjadřující počet dní, po které je dosažena nebo překročena určitá hodnota průtoku. Z křivky překročení lze mimo jiné určit rozkolísanost denních průtoků, a to na základě tvaru křivky určené proměnlivostí denních průtoků. Z obrázku 39 je patrné, že odtokový režim Bouřlivce má vcelku vyrovnaný režim s pouze krátkodobým zvýšením vodního stavu. V případě Loučenského potoka je odtokový režim během roku rovněž v celku vyrovnaný. Nejvíce rozkolísaný režim odtoku je na obou

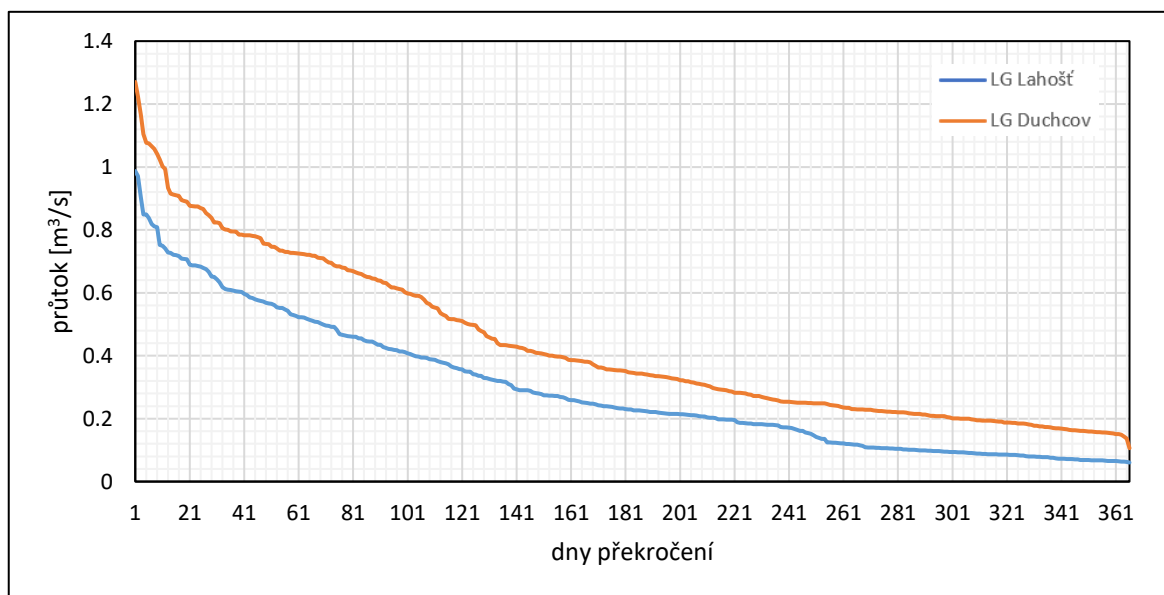
profilech pozorován v případě mimořádně vysokých vodních stavů. Naopak v oblasti minim se jeví rozkolísanost odtoku značně menší. Z křivky překročení byly následně pro oba profily odečteny absolutní hodnoty překročení (M-denní průtoky), které jsou v tabulce 16 a 17.

Tab. 16: Hodnoty M-denních průtoků pro profil Lahošť (Bouřlivec) za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

průtok	Q _{30d}	Q _{90d}	Q _{120d}	Q _{180d}	Q _{210d}	Q _{240d}	Q _{270d}	Q _{300d}	Q _{330d}	Q _{355d}	Q _{360d}	Q _{364d}
m ³ /s	0,650	0,435	0,357	0,232	0,207	0,172	0,109	0,094	0,079	0,067	0,065	0,063

Tab. 17: Hodnoty M-denních průtoků pro profil Duchcov (Loučenský potok) za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

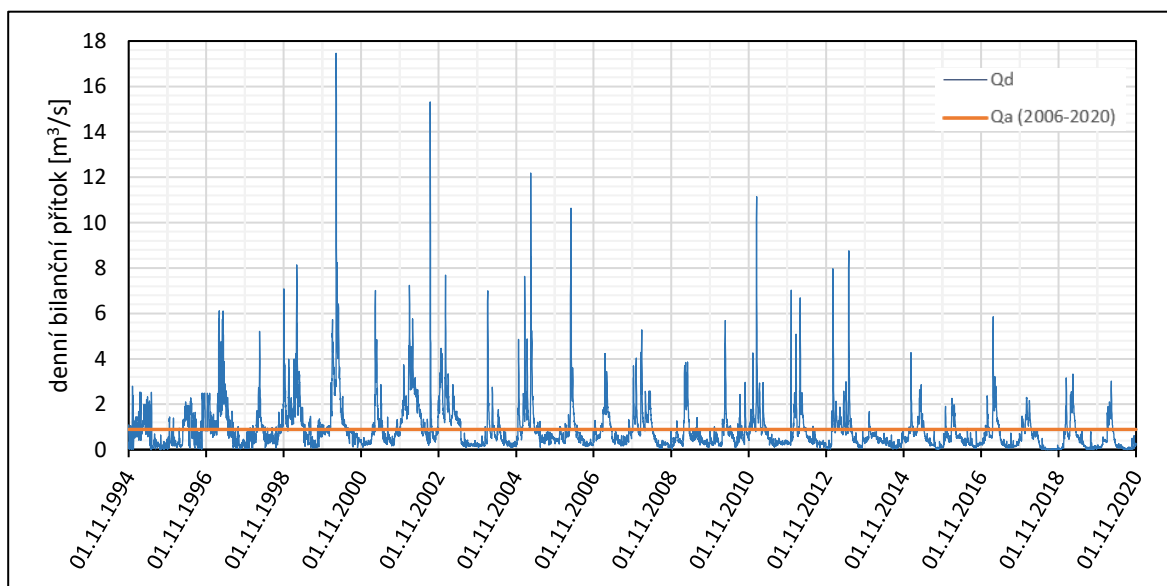
průtok	Q _{30d}	Q _{90d}	Q _{120d}	Q _{180d}	Q _{210d}	Q _{240d}	Q _{270d}	Q _{300d}	Q _{330d}	Q _{355d}	Q _{360d}	Q _{364d}
m ³ /s	0,824	0,640	0,513	0,352	0,308	0,254	0,228	0,203	0,180	0,157	0,153	0,143



Obr. 39: Histogram kumulativních četností pro profil Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

7.2.1.1 Bilanční přítok do přehradní nádrže Všechlapy

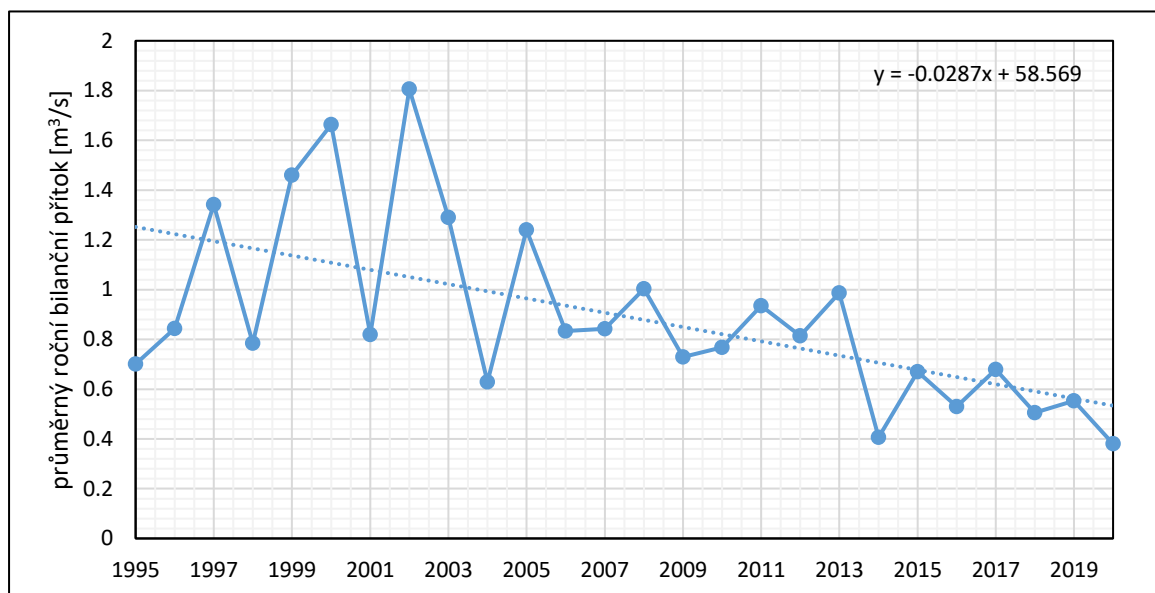
Hodnoty bilančního přítoku do nádrže Všechlapy jsou vztaženy v našem případě vždy k 7. hodině ranní. Bilanční přítok nám dává informaci o tom, kolik vody z povodí Loučenského potoka a Bouřlivce přitéká do přehradní nádrže Všechlapy. Z dat průměrných denních, resp. měsíčních a ročních průtoků z limnigrafu Duchcov víme, že se do přehradní nádrže dostává více vody právě z povodí Loučenského potoka. Obrázek 40 vizualizuje denní hodnoty bilančního přítoku do nádrže Všechlapy od hydrologického roku 1995 do roku 2020. Můžeme si povšimnout sníženého objemu přítoku a menší rozkolísanosti od roku 2013, což nám potvrzují informace z limnigrafických profilů Lahošť a Duchcov, kde byl rovněž pozorován snížený průtok během hydrologických let 2014-2020 a naopak zvýšená rozkolísanost průtoků v předchozích námi pozorovaných letech. Dlouhodobý průměrný bilanční přítok do nádrže Q_a (1995-2020) je $0,891 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejvyššího denního bilančního přítoku bylo dosaženo 10. 3. 2000 ve výši $17,46 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejnižší denní bilanční přítoky jsou zaznamenány v průběhu let 2018-2020, kdy v několika dnech klesl přítok na hodnotu $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$. Sucho bylo nejvíce viditelné v letních a podzimních měsících, kdy se průměrný denní bilanční přítok do nádrže pohyboval kolem hodnoty $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. 40: Hodnoty bilančního přítoku do přehradní nádrže Všechlapy za hydrologické období 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat od Povodí Ohře)

Průměrný roční bilanční přítok do nádrže Všechlapy zobrazuje obrázek 41, který o něco lépe a přehledněji zobrazuje poklesovou tendenci přítoku během sledovaných let, kterou vyjadřuje lineární spojnice trendu. V roce 2002 byl naměřen největší průměrný roční přítok do nádrže od roku 1994, a to $1,806 \text{ m}^3/\text{s}$. Naopak nejmenší průměrný roční bilanční přítok byl zaznamenán v roce

2020, kdy tento přítok poklesl na hodnotu 0,380 m³/s, což je skoro pětkrát nižší hodnota, než byla naměřena v roce 2002.



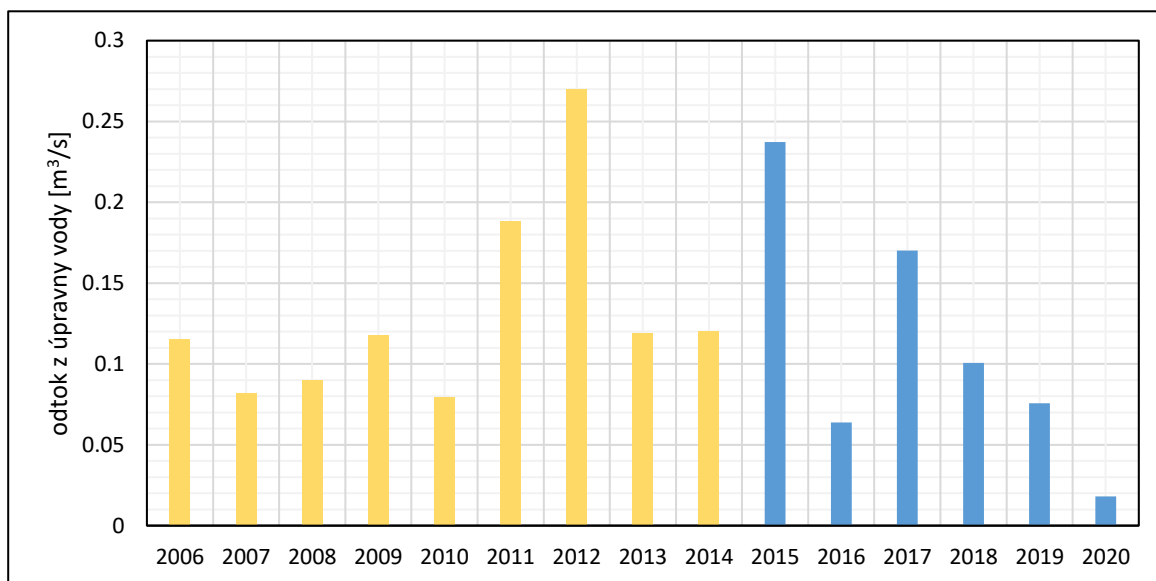
Obr. 41: Hodnoty průměrného ročního bilančního přítoku do přehradní nádrže Všechlapy (1995-2020)
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

7.2.1.2 Vliv odtoku z úpravny vody v Meziboří na průtok v Loučenském potoce

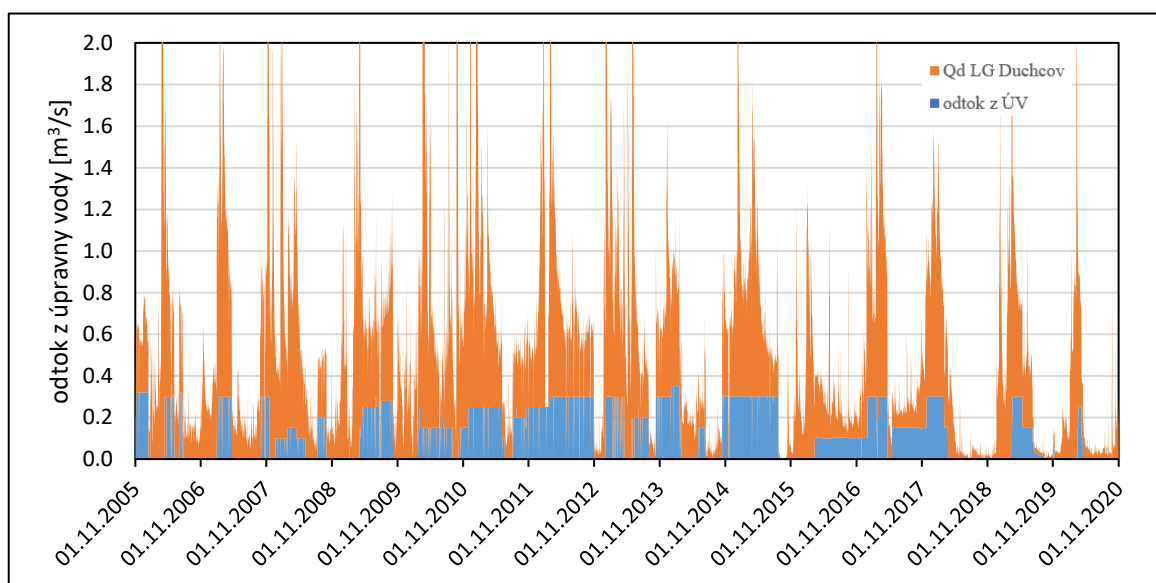
Obtok vody z úpravny v Meziboří je během roku nepravidelný a odvíjí se od velikosti přebytku vody v úpravném procesu. V letech 2006-2020 byl naměřen průměrný odtok z úpravny 0,124 m³/s. Maximální odtok byl zaznamenán dne 13. 1. 2006 o velikosti 0,5 m³/s. Většina naměřených hodnot nepřekračuje odtok o velikosti 0,3 m³/s. Do října roku 2014 byly hodnoty odtoku stanoveny vždy k 7. hodině ranní. V obrázku 42 je období okamžitého záznamu hodnot vždy k 7. hodině ranní značeno žlutě. Modře je značeno období s dostupnými průměrnými denními hodnotami odtoku. Nejvyšší průměrný roční odtok byl za období 2006-2014 zaznamenán v roce 2012 ve výši 0,27 m³/s. Naopak nejnižší průměrný roční odtok za období 2006-2014 zaznamenal rok 2010 s hodnotou 0,08 m³/s. V letech 2015-2020 byl zaznamenán nejvyšší průměrný roční odtok v roce 2015 (0,24 m³/s) a nejnižší průměrný roční odtok v roce 2020, a to pouze 0,02 m³/s.

Snahu o grafické znázornění vlivu odtoku z nadvýroby z úpravny vody v Meziboří na průtok v Loučenském potoce, resp. na profil Duchcov, dokládá obrázek 43. Předpoklad, že veškerá voda z nadvýroby bude zaznamenána na limnigrafu v Duchcově je ovšem mylný. Část vody z Radčického potoka se v místě křížení s přeložkou potoka Klášterského dostává do původního koryta potoka Radčického, kde je udržován minimální zůstatkový průtok 13 l/s. K dalším „ztrátám“ vody před měrným profilem v Duchcově dochází před samotným městem Duchcov, kde dochází k převodu

vody kolem města Duchcov do nedalekých sádek a do prostor dolu Bílina (písemné sdělení od pana Ing. Michala Tanajewski, Povodí Ohře, s.p.). Můžeme si povšimnout zvýšeného průtoku na profilu Duchcov v období, kdy dochází k odtoku z úpravny vody v Meziboří, a naopak poklesu průtoku v období, kdy k nadlepšení průtoku v podobě nadvýroby nedochází. K odtoku z důvodu nadvýroby došlo i během nejméně vodného roku 2020, ale hodnoty odtoku se držely po většinu roku na velmi nízké úrovni. Průměrný denní odtok z úpravny vody v Meziboří byl v roce 2020 stanoven na 0,02 m³/s.



Obr. 42: Průměrný roční odtok z úpravny vody v Meziboří za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 43: Průměrný denní průtok na profilu Duchcov a odtok z úpravny vody v Meziboří – graf upraven z důvodu vysokých hodnot Q_d oproti hodnotám odtoku z ÚV
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

7.3 Hydrologické sucho v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce

Hydrologické sucho bylo analyzováno za pomoci metody prahové hodnoty a metody nedostatkových objemů na limnigrafu Lahošť a Duchcov během námi sledovaného období 2006-2020. Jednotlivé metody byly představeny výše v kapitole 3.

7.3.1 Hodnocení na základě suchých dní

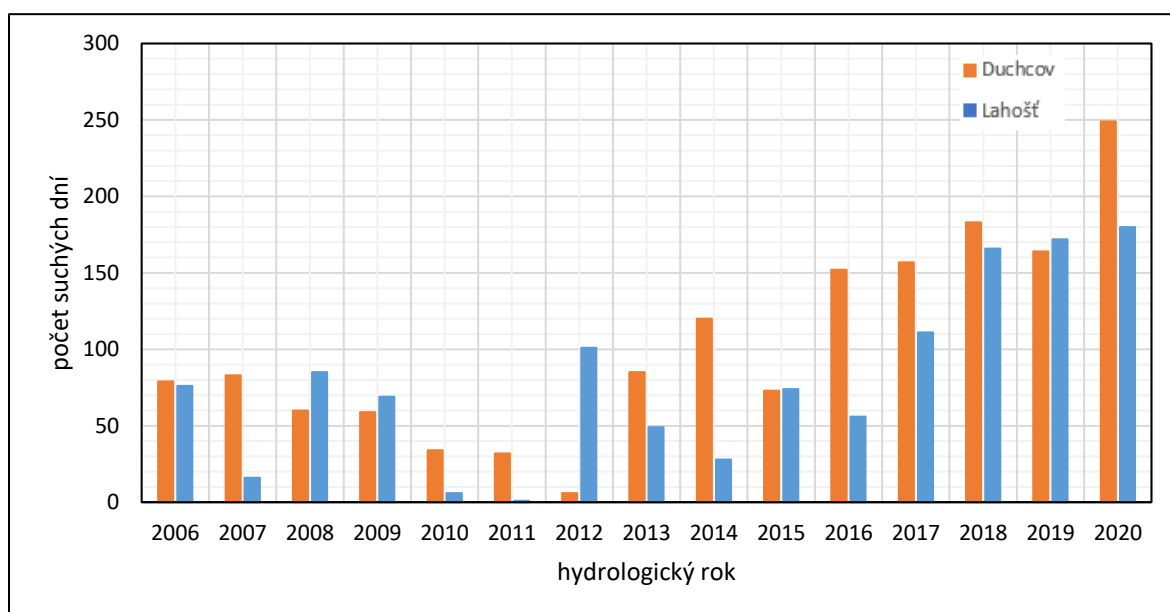
Podstatou hodnocení suchých dní je stanovení prahové hodnoty (M -denních průtoků) a následné porovnání zvolené prahové hodnoty s hodnotami denních průměrných průtoků příslušného profilu. Pokles průtoku pod zvolenou prahovou hodnotu značí výskyt hydrologického sucha. V našem případě bude za suchý den označen ten, kdy průměrný denní průtok klesne pod hodnotu minimálního průtoku Q_{355d} , který je podle ČHMÚ rovněž považován za hraniční hodnotu hydrologického sucha. V Česku je dle Fialy (2011) hodnota průtoku Q_{355d} nejběžněji využívanou charakteristikou pro hodnocení minimálních průtoků během suchých epizod.

Z obrázku 44 je patrné, že se průměrný denní průtok nižší než prahová hodnota Q_{355d} , vyskytl na obou sledovaných profilech minimálně po dobu jednoho dne v roce v rámci celého sledovaného období 2006-2020. Prahová hodnota Q_{355d} pro profil Lahošť na Bouřlivci je $0,067 \text{ m}^3/\text{s}$. Na tomto profilu bylo ve sledovaném období 2006-2020 zaznamenáno 1190 dní s výskytem hydrologického sucha, resp. 1190 dní, kdy průtok poklesl pod prahovou hodnotu Q_{355d} . V hydrologickém roce 2011 byl na profilu Lahošť pozorován pouze jeden den s průměrným denním průtokem nižším, než Q_{355d} (konkrétně se jedná o 14. 9. 2011). Celkově si můžeme povšimnout výraznější nepravidelnosti výskytu počtu suchých dní na profilu Lahošť s patrným nárůstem výskytu suchých dní od roku 2016. Nejvíce suchých dní bylo zaznamenáno na profilu Lahošť v roce 2020, což poukazuje na akumulující se příčiny hydrologického sucha z předchozích let. Hydrologicky suchých dní bylo na profilu Lahošť v roce 2020 zaznamenáno 180. Z toho vyplývá, že přibližně polovina roku 2020 zaznamenala průtok pod limitní hodnotou Q_{355d} . Z hlediska počtu suchých dní jsou dále významné roky 2012, 2018 a 2019, ve kterých bylo zaznamenáno více jak 100 hydrologicky suchých dní v roce.

Prahová hodnota Q_{355d} pro profil Duchcov na Loučenském potoce je $0,157 \text{ m}^3/\text{s}$. Na profilu Duchcov bylo za období 2006-2020 zaznamenáno celkem 1536 dní s výskytem hydrologického sucha. Do roku 2012 docházelo k postupnému poklesu výskytu suchých dní. Nejnižší počet suchých dní byl pozorován právě v roce 2012. Tento rok lze označit za zlomový, neboť od roku 2012 dochází k postupnému nárůstu hydrologicky suchých dní během námi sledovaných let. Výjimku tvoří hydrologické roky 2015 a 2019, kdy byl vždy pozorovaný počet suchých dní nižší než rok předchozí. K největšímu nárůstu počtu suchých dní došlo na profilu Duchcov mezi lety 2019 a 2020, a to celkem

o 85 suchých dní. V roce 2019 bylo zjištěno na profilu Duchcov celkem 164 suchých dní. Rok následující bylo na profilu Duchcov zaznamenáno již 249, což představuje přibližně 68 % dnů z celkového počtu dní v roce 2020 s průtokem nižším než Q_{355d} .

Mezi počty suchých dní na profilech Lahošť a Duchcov je patrná korelace, která je nejvíce zřetelná v roce 2015. V roce 2015 se od sebe počty suchých dní na obou profilech lišily pouze o jeden jediný den. Na profilu Lahošť bylo v roce 2015 naměřeno 74 suchých dní a na profilu Duchcov 73 suchých dní. Podobně srovnatelný počet suchých dní byl naměřen také v roce 2006 a 2019, i když odlišnost v počtu suchých dní byla vyšší než v roce 2015. Přestože je rok 2015 všeobecně považován za první pozorovaný vrchol suchého období (Daňhelka a kol. 2015; Crhová a kol. 2010), z hlediska hodnot naměřených na limnigrafu Lahošť a Duchcov se jednalo o průměrný rok, který se výrazně nelišil od let předchozích. Vysoký rozdíl hodnot byl naopak zaznamenán v roce 2012, ve kterém se počet suchých dnů na profilu Lahošť a Duchcov lišil o 95 dnů s převahou suchých dnů na profilu Lahošť. Podobně tomu bylo i v roce 2014 a 2016, ve kterých byl rovněž naměřen značně odlišný počet suchých dní, tentokrát s převahou suchých dní na profilu Duchcov.

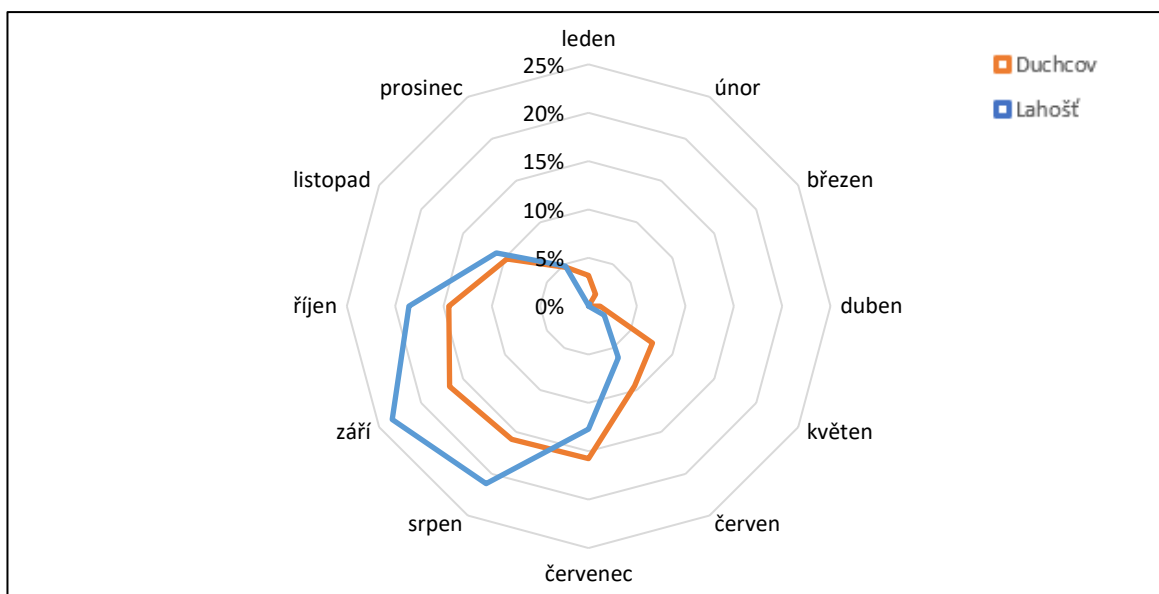


Obr. 44: Počet suchých dní podle prahové hodnoty Q_{355d} na profilu Lahošť a Duchcov v jednotlivých letech (Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Povšimnout si můžeme rovněž odlišností v rozložení suchých období během roku. Obrázek 45 znázorňuje rozložení jednotlivých suchých dní během roku na profilu Lahošť a Duchcov. Výskyt suchých period je úzce spojen s letními a podzimními měsíci, ve kterých dochází k největší evapotranspiraci, která je zapříčiněna zvýšenou sluneční insolací. V první polovině roku (leden–červen) bylo zaznamenáno na profilu Lahošť pouze 8,32 % suchých dnů z celkového počtu 1190. Nejvíce suchých dní se na profilu Lahošť vyskytuje ve druhé polovině roku, a to 91,68 % z celkového

počtu zaznamenaných suchých dnů. Nejvyšší počet dnů s průtokem nižším, než prahová hodnota Q_{355d} bylo zaznamenáno během září. Počet suchých dní v tento měsíc tvoří 23,45 % z celkového počtu 1190 suchých dnů, což v absolutních číslech odpovídá 279 dnům. V měsíci březen a duben nebyl na profilu Lahošť zaznamenán žádný den s poklesem průtoku pod hodnotu Q_{355d} . Nejdelší souvislé sucho s průtokem pod Q_{355d} s délkou trvání 143 dní bylo v denním kroku zaznamenáno od 3. 6. do 23. 10. 2018. V tomto období byla naměřena průměrná hodnota průtoku $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$.

Na profilu Duchcov bylo v první polovině roku (leden–červen) zaznamenáno 22,92 % suchých dní z celkového počtu 1536 dnů s výskytem hydrologického sucha. Ve druhé polovině roku se vyskytuje zbylých 77,08 % suchých dní. Nejvyšší počet suchých dní byl na profilu Duchcov zaznamenán v září, a to celkem 255 dní (16,6 %) z celkového počtu 1536. V měsíci březen nebyl na profilu Duchcov zaznamenán žádný den s výskytem hydrologického sucha. Nejdelší souvislé hydrologické sucho s délkou trvání 192 dní bylo zaznamenáno od 13. 6. do 21. 12. 2018 s průměrným průtokem $0,027 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. 45: Sezónní rozložení suchých dnů podle prahové hodnoty Q_{355d} na profilu Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Hydrologické sucho bylo z hlediska suchých dnů analyzováno rovněž pomocí prahových hodnot Q_{364d} a Q_{330d} . Prahová hodnota Q_{364d} značí výskyt extrémního hydrologického sucha na daném profilu. Průtok Q_{364d} je na profilu Lahošť roven hodnotě $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$. Pod tuto hodnotu poklesl naměřený denní průměrný průtok na profilu Lahošť celkem 1111krát, za celé sledované období 2006-2020. Na základě prahové hodnoty Q_{355d} bylo zjištěno na profilu Lahošť celkem 1190 dní s průtokem nižším než limitní průtok Q_{355d} . Můžeme tedy konstatovat, že většina naměřených

minimálních průměrných denních průtoků na profilu Lahošť má charakter extrémního hydrologického sucha. Pouze 79 suchých dnů z celkových 1190 (podle Q_{355d}) zaznamenalo průtok vyšší, než je hodnota průtoků Q_{364d} . Extrémně nízkými hodnotami průtoků byly na profilu Lahošť zasaženy především poslední tři sledované roky 2018, 2019 a 2020, ve kterých bylo zjištěno dohromady 506 dní s výskytem extrémního sucha což odpovídá 46 % z celkového počtu extrémně suchých dní. Během sledovaného období hydrologických let 2006-2020 nebyl na profilu Lahošť zaznamenán rok, ve kterém by nedošlo k výskytu extrémně nízkého průtoků podle určené prahové hodnoty Q_{364d} .

Průtok Q_{364d} na profilu Duchcov odpovídá hodnotě $0,143 \text{ m}^3/\text{s}$. Z celkového počtu 1536 dní, kdy průtok nepřesáhl hodnotu Q_{355d} , dosáhlo hodnoty extrémně nízkého průtoků Q_{364d} celkem 1451 dní. Stejně, jako v případě profilu Lahošť, i zde má většina naměřených minimálních průtoků charakter extrémního sucha. Extrémně nízkými hodnotami průměrných denních průtoků byly nejvíce zasaženy roky 2018, 2019 a 2020. Suma hydrologicky suchých dní za uvedené roky dosahuje hodnoty 591, což odpovídá 41 % z celkového počtu extrémně suchých dní zaznamenaných během let 2006-2020. Ani na profilu Duchcov bychom během námi sledovaného hydrologického období 2006-2020 nenašli rok, ve kterém by nebyl zjištěn extrémně nízký průtok na základě stanoveného prahového průtoků Q_{364d} . Nejnižší počet extrémně suchých dní zaznamenal hydrologický rok 2012, kdy byl průtok pod limitní hodnotou Q_{364d} dosažen pouze 5krát. Vyšší počty extrémně suchých dní s průtokem pod limitní hodnotou Q_{364d} byly na profilu Lahošť zaznamenány pouze v letech 2008, 2009, 2012, 2015 a 2019. V ostatních letech, ve sledovaném období 2006-2020, byly vyšší počty extrémně suchých dní zaznamenány vždy na profilu Duchcov. V letech 2015 a 2019 se hodnoty celkového počtu suchých dní na obou profilech lišili pouze o 4 extrémně suché dny.

Další analyzovanou prahovou hodnotou byl průtok Q_{330d} , který na profilu Lahošť odpovídá hodnotě $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Pod tuto prahovou hodnotu klesl průměrný denní průtok na profilu Lahošť 1480krát během let 2006-2020. V hydrologických letech 2018-2020 bylo nižších průtoků, než limitní průtok Q_{330d} zaznamenáno celkem 548. Profil Duchcov má prahovou hodnotu Q_{330d} $0,180 \text{ m}^3/\text{s}$. Prahového průtoků Q_{330d} bylo dosaženo po 1739 dní během sledovaného období 2006-2020, což je o 259 dní více než v případě profilu Lahošť na Bouřlivci. Vyšší počty dní s průtokem pod hodnotou Q_{330d} byly na profilu Lahošť zaznamenány pouze v letech 2006, 2008, 2009, 2012 a 2019. V ostatních letech, v období od roku 2007 do roku 2020, byl počet suchých dní s průtokem pod limitní hodnotou Q_{330d} vždy vyšší na profilu Duchcov.

7.3.2 Hodnocení nedostatkových objemů

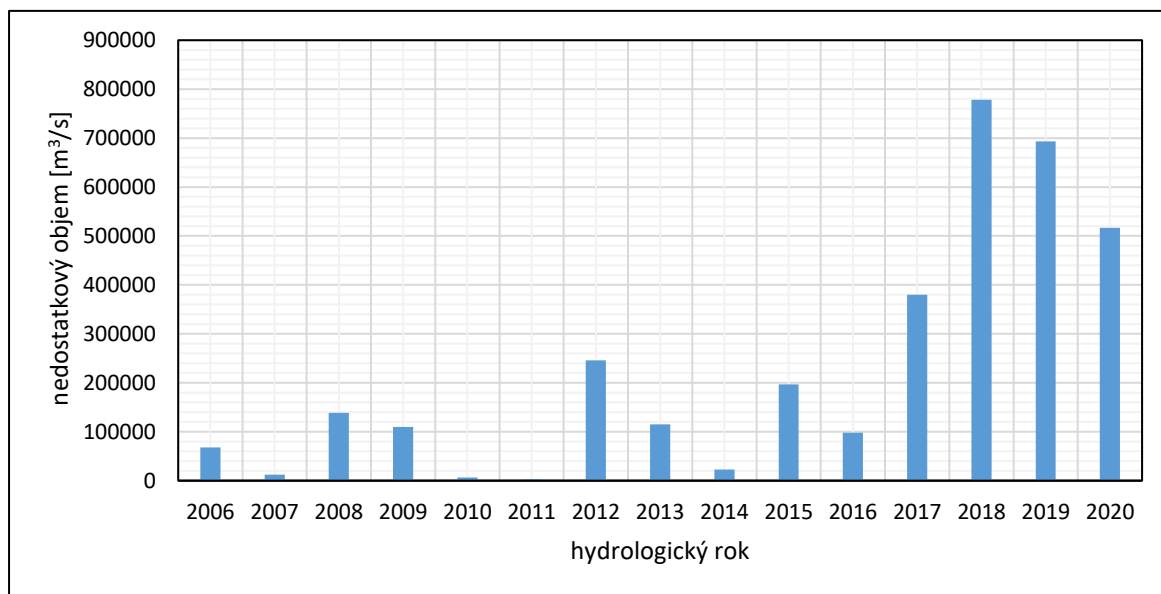
Další metodou, jak lze hodnotit hydrologické sucho, je analýza nedostatkových objemů. Pouhé hodnocení hydrologického sucha na základě výskytu počtu dní s podlimitní hodnotou průtoku nezohledňuje, jak moc průtok poklesl pod danou limitní hodnotu. Jinými slovy neznáme objem vody, který by byl potřeba k dosažení požadované prahové hodnoty. V našem případě počítáme u obou sledovaných profilů s prahovou hodnotou Q_{355d} . Velikost nedostatkových objemů se obvykle od výskytu hydrologického sucha. Pokud nedošlo k zaznamenání hydrologicky suchého dne během sledovaného období, nemohlo dojít ani k zaznamenání nedostatkových objemů. Můžeme si tak povšimnout souvislosti mezi obrázkem 44, zobrazující počty suchých dní na obou profilech a obrázkem 46 a 47 zobrazující hodnoty nedostatkových objemů. Abychom mohly oba profily z hlediska nedostatkových objemů porovnat mezi sebou, je zapotřebí je standardizovat. Hodnoty standardizovaných objemů jsou v grafickém provedení v obrázku 48.

Z dostupných dat bylo nejextrémnější sucho na profilu Lahošť zaznamenáno v roce 2018, které trvalo 166 dní (obrázek 46). Velikost standardizovaného nedostatkového objemu byla 81 %, což v absolutním vyjádření znamená, že v profilu toku chybělo přes 778 tis. m^3 vody. Ačkoliv počet zaznamenaných hydrologicky suchých dní další roky narůstá (viz obrázek 44 výše v textu), velikost nedostatkových objemů se od roku 2018 snižuje. Na rozdíl od analýzy prahových hodnot, kde byl označen jako nejsušší rok 2020, je na základě analýzy nedostatkových objemů na profilu Lahošť hodnocen jako hydrologicky nejsušší právě rok 2018, kdy hodnota nedostatkového objemu překročila zmíněných 778 tis. m^3 . Počet suchých dní (166 dní) však v roce 2018 není nejvyšší za sledované období. Z toho lze usuzovat, že v roce 2018 na profilu Duchcov docházelo k extrémně nízkým průtokům, což ostatně dokládá i vysoký počet extrémně suchých dní Q_{364d} , který bylo v roce 2018 naměřeno 165.

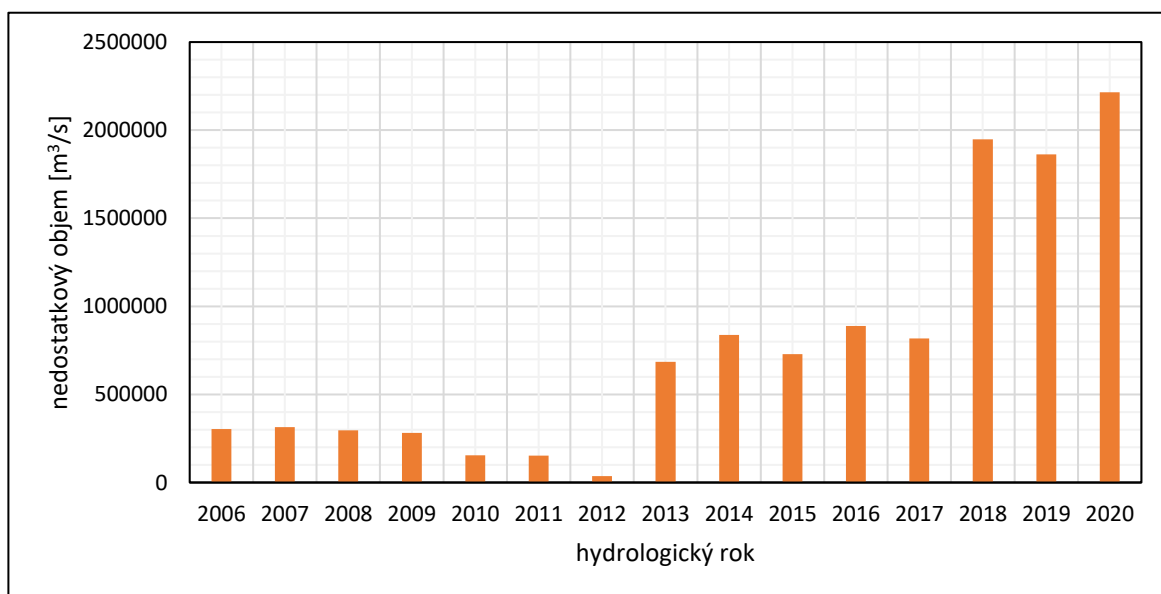
V roce 2020 tvořil nedostatkový objem na profilu Lahošť přes 516 tis. m^3 , což z hlediska standardního nedostatkového objemu představuje 50 % (tj. chybělo přes 50 % vody pro naplnění limitního průtoku Q_{355d}). Druhá nejvyšší hodnota nedostatkového objemu byla na profilu Lahošť zaznamenána v roce 2019 v celkové výši přes 693 tis. m^3 . K dosažení limitního průtoku Q_{355d} chybělo téměř 70 % vody. Oproti roku 2018 bylo v roce 2020 zaznamenáno o 14 suchých dní méně. Tomu odpovídá i velikost nedostatkových objemů, která byla v roce 2020 nižší, než v roce 2018.

Na profilu Duchcov (obrázek 47) bylo z hlediska nedostatkových objemů nejextrémnější sucho v roce 2020, které trvalo 249 dní. Absolutní hodnota nedostatkového objemu dosahovala 2 214 817 m^3 , ačkoliv hodnota standardizovaného nedostatkového objemu byla „pouze“ 66 %. Nejvyšší standardizovaný nedostatkový objem měl v roce 2019 velikost téměř 84 %. Z hlediska absolutních čísel se druhé nejextrémnější hydrologické sucho se vyskytovalo na profilu Duchcov

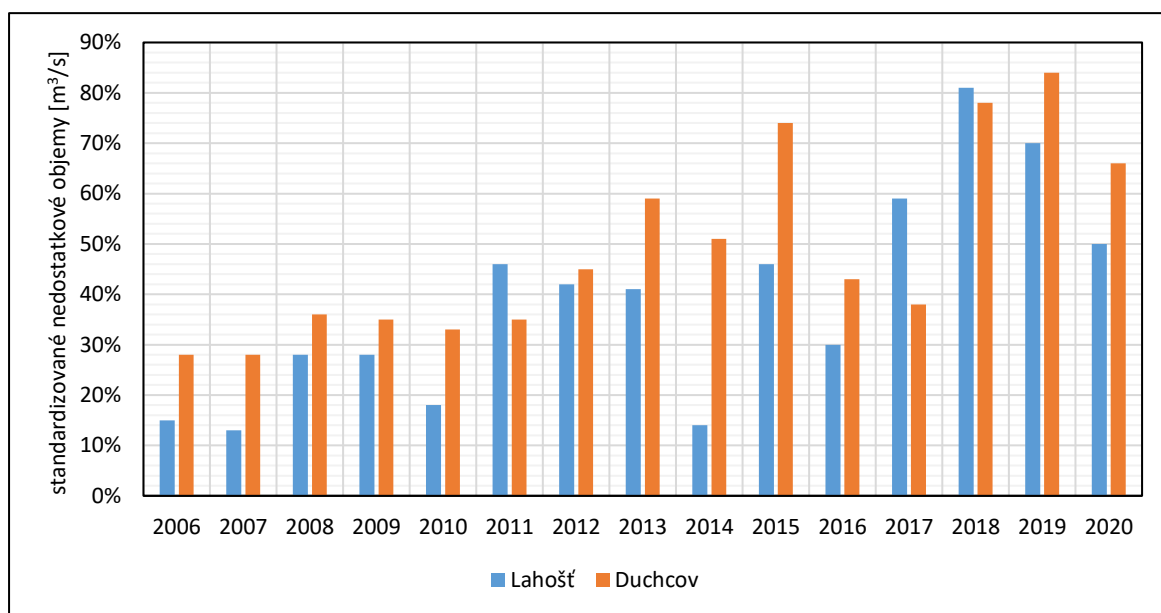
v roce 2018 s nedostatkovým objemem 1 948 643 m³, kdy chybělo k dosažení prahového průtoku Q_{355d} přes 78 % vody. Zlomem v nárůstu velikosti nedostatkových objemů je rok 2012. Tento rok představuje zároveň rok s nejnižším nedostatkovým objemem, který představuje pouze 36 288 m³. Nejnižší standardizovaný nedostatkový objem byl zaznamenán v letech 2005 a 2006 s velikostí 28 %. Mezi rokem 2012 a 2013 došlo na profilu Duchcov k nárůstu nedostatkového objemu o 648 863 m³. Mezi rokem 2012 a 2020 byl zaznamenán nárůst až o 2 178 529 m³.



Obr. 46: Nedostatkové objemy na profilu Lahošť v pozorovaném období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 47: Nedostatkové objemy na profilu Duchcov v pozorovaném období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)



Obr. 48: Standardizované nedostatkové objemy na profilu Lahošť a Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Přehled počtu suchých dní analyzovaných na základě prahových průtoků Q_{364d} , Q_{355d} a Q_{330d} s velikostí nedostatkového objemu pro Q_{355d} a standardizovaného nedostatkového objemu Q_{355d} s procentuálním zastoupením suchých dní s průtokem nižším, než Q_{355d} v rámci jednotlivých let je uveden v tabulce 18 pro profil Lahošť a v tabulce 19 pro profil Duchcov.

Tab. 18: Přehled charakteristik hydrologického sucha pro profil Lahošť za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

hydrologický rok	počet suchých dní Q_{364d}	počet suchých dní Q_{355d}	počet suchých dní Q_{330d}	nedostatkový objem [m³] pro Q_{355d}	standardizovaný nedostatkový objem pro Q_{355d}	zastoupení suchých dní v daném roce pro Q_{355d}
2006	53	76	140	67 997	15 %	21 %
2007	13	16	40	12 182	13 %	4 %
2008	72	85	115	138 586	28 %	23 %
2009	64	69	101	109 901	28 %	19 %
2010	6	6	16	6 307	18 %	2 %
2011	1	1	7	2 678	46 %	0,3 %
2012	97	101	135	245 894	42 %	28 %
2013	47	49	52	114 912	41 %	13 %
2014	20	28	45	22 982	14 %	8 %
2015	69	74	85	196 690	46 %	20 %
2016	55	56	75	97 805	30 %	15 %
2017	108	111	121	380 074	59 %	30 %
2018	165	166	169	778 579	81 %	46 %
2019	168	172	175	693 317	70 %	47 %
2020	173	180	204	516 879	50 %	49 %

Tab. 19: Přehled charakteristik hydrologického sucha pro profil Duchcov za období 2006-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

hydrologický rok	počet suchých dní Q_{364d}	počet suchých dní Q_{355d}	počet suchých dní Q_{330d}	nedostatkový objem [m^3] pro Q_{355d}	standardizovaný nedostatkový objem pro Q_{355d}	zastoupení suchých dní v daném roce pro Q_{355d}
2006	70	79	99	304 042	28 %	22 %
2007	70	83	104	313 632	28 %	23 %
2008	53	60	68	295 661	36 %	16 %
2009	51	59	74	282 269	35 %	16 %
2010	28	34	40	154 471	33 %	9 %
2011	29	32	50	152 928	35 %	9 %
2012	5	6	8	36 288	45 %	2 %
2013	84	85	89	685 151	59 %	23 %
2014	112	120	152	837 355	51 %	33 %
2015	67	73	88	727 944	74 %	20 %
2016	143	152	174	888 797	43 %	42 %
2017	148	157	178	817 517	38 %	43 %
2018	183	183	188	1 948 643	78 %	50 %
2019	164	164	165	1 862 555	84 %	45 %
2020	244	249	262	2 214 817	66 %	68 %

Z hodnocení hydrologického sucha od roku 2006 až do roku 2020 vyplývá, že sucho bylo jako důsledek kumulativních příčin z předchozích let nejvíce výrazné v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce na základě hodnocení prahových hodnot a nejvyššího počtu suchých a extrémně suchých dní hodnocen právě rok 2020. Z hlediska nedostatkových objemů byl nevyšší chybějící objem zaznamenán v roce 2018 u profilu Lahošť ($778\,579\,m^3$) a v roce 2020 u profilu Duchcov ($2\,214\,817\,m^3$).

7.4 Stanovení minimálních zůstatkových průtoků

Minimální zůstatkové průtoky (dále pouze MZP) byly pro profil Lahošť na Bouřlivci a Duchcov na Loučenském potoce stanoveny podle připravované novely nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení MZP pomocí charakteristických průtoků za normálové období 1981-2010, které nám byly poskytnuty státním podnikem Povodí Ohře (tabulka 20).

Tab. 20: Prahové hodnoty průtoků [m^3/s] za normálové období 1981-2010 – stanoveno výpočtem ČHMÚ
(Zdroj: Povodí Ohře)

profil	Q_{330d}	Q_{355d}	Q_{364d}	Q_a
Lahošť	0,11	0,04	0,02	0,34
Duchcov	0,12	0,04	0,02	0,37

Současné platné hodnoty MZP, odvozené podnikem Povodí Ohře, jsou z roku 2012 u Loučenského potoka (Duchcov) nastaveny na hodnotu 0,101 m³/s. MZP z roku 2016 je u Bouřlivce (obec Hrob) nastaven na hodnotu 0,044 m³/s. Uvedená roční minima v obrázku 37 (2006-2020) byla v případě Loučenského potoka hluboko pod uvedeným limitem. Většina minim (obrázek 38) v případě Bouřlivce rovněž nedosahovala hodnoty MZP.

Pro určení MZP podle plánovaného nařízení vlády je nejprve nutné znát oblasti, do které dané povodí spadá (viz kapitola 6.3.2). Povodí Bíliny, do kterého řadíme povodí Loučenského potoka a Bouřlivce, spadá dle zmíněného nařízení vlády do oblasti 4, která je charakteristická výrazně nerovnoměrným průtokovým režimem během roku. MZP pro hlavní sezonu (květen-leden) následně snadno vypočítáme na základě vztahu:

$$MZP = [1 - (Q_{355d}/Q_a)] \cdot Q_{330d} \cdot K$$

kde za koeficient K dosadíme standardizovanou hodnotu 1,07.

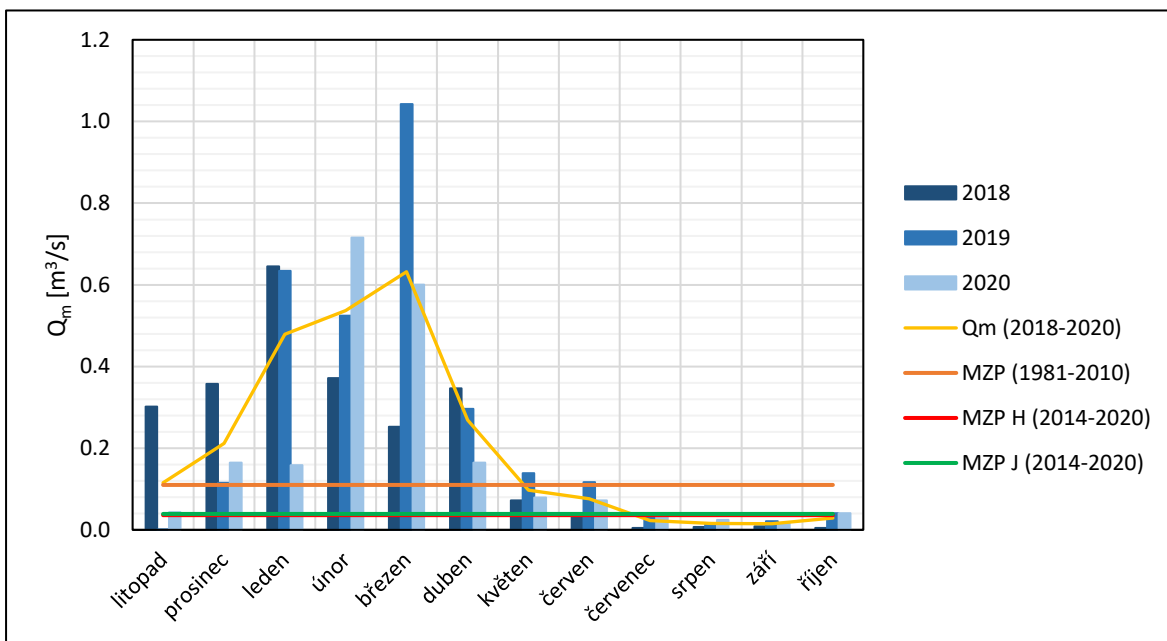
Na základě tohoto vztahu byla určena hodnota MZP pro hlavní sezonu (květen-leden) pro profil Lahošť 0,11 m³/s a pro profil Duchcov 0,12 m³/s. MZP pro jarní sezonu (únor-duben) se určuje podle hodnoty prahového průtoku Q_{330d} , který je u profilu Lahošť i Duchcov stejný, jako během hlavní sezony tj. 0,11 m³/s (Lahošť) a 0,12 m³/s (Duchcov). Což v obou případech odpovídá přibližně 32 % Q_a za normálové období 1981-2010.

Na profilu Lahošť (Bouřlivec) je navrhovaná hodnota MZP vypočítaná na základě dat za normálové období 1981-2010 značně nadhodnocena oproti reálným stavům průtoku. Zejména v letních a podzimních měsících, resp. v srpnu, v září a v říjnu v období 2006-2020 byl naměřen dlouhodobý průměrný měsíční průtok 0,087 m³/s. Dá se proto předpokládat, že po většinu dní zmiňovaných měsíců se držel průměrný denní průtok pod hodnotou MZP. Ve zbylých měsících roku byl dlouhodobý průměrný měsíční průtok na profilu Lahošť vždy vyšší než navrhovaná hodnota MZP. To ovšem neznamená, že hodnota průměrného denního průtoku v žádném ze zbylých dnů nepoklesla pod hodnotu MZP. Na základě námi stanoveného MZP dle metodiky nařízení vlády pro profil Duchcov můžeme konstatovat, že hodnoty dlouhodobých průměrných měsíčních průtoků v období 2006-2020 byly vždy vyšší než limitní hodnota MZP. Nicméně i na tomto profilu s prohlubujícím se suchem ve druhé polovině sledované datové řady dochází ke snížení průměrných měsíčních průtoků pod limitní hodnotu MZP a tím i k většímu výskytu dnů s průměrným denním průtokem pod hodnotou MZP.

Na profilu Lahošť se průměrný průtok v hlavní sezoně (květen-leden) let 2018-2020 pohyboval na hodnotě 0,12 m³/s a v jarní sezoně (únor-duben) byl naměřen průměrný průtok 0,48 m³/s. Hodnota průtoku naměřeného v hlavní sezoně převyšuje hodnotu MZP pouze o 0,1 m³/s.

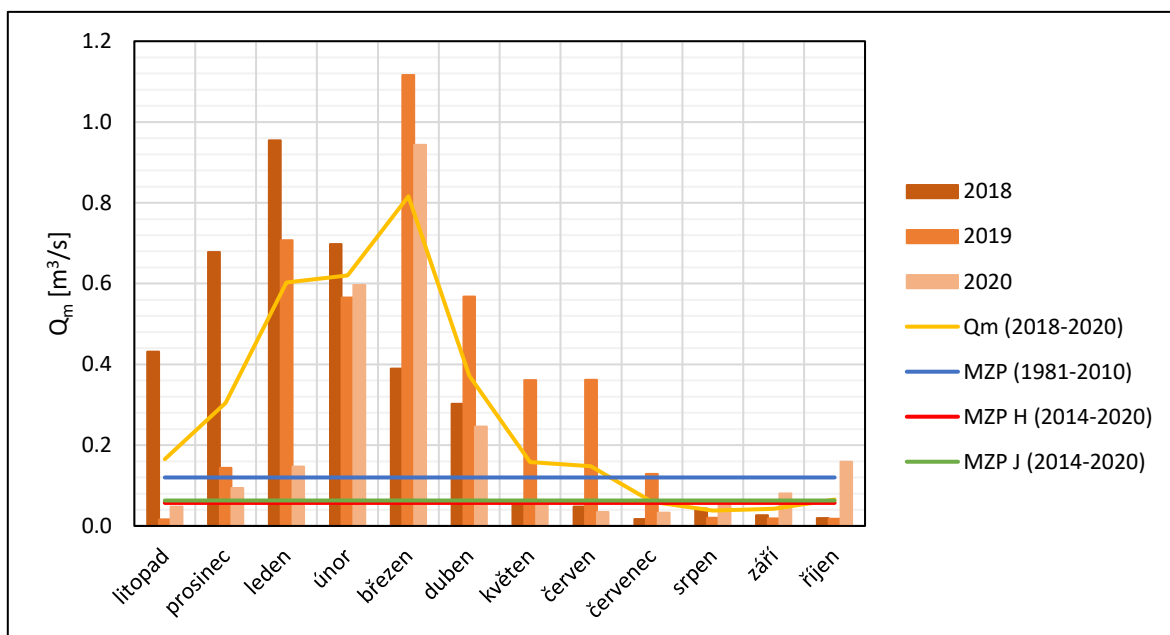
U profilu Duchcov byl mezi lety 2018-2020 naměřen v hlavní sezoně (květen-leden) průměrný průtok $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ a v sezoně jarní (únor-duben) průměrný průtok $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Obrázky 49 a 50 ilustrují průměrné měsíční průtoky ve vybraných letech 2018, 2019 a 2020 ve srovnání s MZP na profilech Lahošť a Duchcov. Jelikož byl MZP na obou profilech určen stejný jak v hlavní, tak i v jarní sezoně, nebylo třeba jeho zvláštního odlišení. Lze konstatovat, že v jarní sezoně (únor-duben) na profilu Lahošť (obrázek 49) průměrný měsíční průtok překračoval limitní MZP v analyzovaných letech 2018-2020. Nicméně již v dubnu 2020, který spadá do sezony hlavní, byl průměrný měsíční průtok pouze $0,165 \text{ m}^3/\text{s}$, což je sice více než námi určený MZP, ale oproti roku 2018 a 2019 zde pozorujeme jistý pokles a přiblížení se limitním hodnotám MZP před začátkem letního období. Naopak je tomu u sezony hlavní (květen-leden). Zde pozorujeme během analyzovaného období především průměrné měsíční průtoky nižší, než je námi stanovený MZP. V posledním sledovaném roce 2020 byl vyšší průtok v hlavní sezoně pozorován pouze v prosinci a v lednu. Po zbytek hydrologického roku (v jarní sezoně) hodnoty průměrných měsíčních průtoků nepřesáhly hodnoty MZP a držely se nízko pod tímto limitem. Nejkritičtější byla situace téhož roku v září, kdy byl naměřen průměrný měsíční průtok pouze $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$, což je pouze necelých 14 % ze stanoveného MZP ($0,11 \text{ m}^3/\text{s}$).



Obr. 49: Průměrný měsíční průtok ve vybraných letech 2018, 2019 a 2020 v porovnání s dlouhodobým průměrným měsíčním průtokem (2018-2020) a MZP pro jarní (J) a hlavní (H) sezonu na profilu Lahošť za normálové období 1981-2020 a 2014-2002
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Obdobná situace byla pozorována i u profilu Duchcov (obrázek 50). Během jarní sezony (únor-duben) byl v pozorovaných suchých letech 2018-2020 zaznamenán průměrný měsíční průtok nad kritickou hodnotou MZP. Během hlavní sezony (květen-leden) se již průměrný měsíční průtok držel pod vymezenou hranicí MZP. Nicméně především v roce 2019 byl pozorován pokles průměrného měsíčního průtoku pod hodnotu MZP až s nástupem srpna. O rok později (rok 2020) byl pokles průtoku pod hodnotu MZP pozorován po celou hlavní sezonu s výjimkou měsíce října, kdy průměrný měsíční průtok dosahoval hodnoty 0,159 m³/s a ledna s průměrným měsíčním průtokem 0,147 m³/s.



Obr. 50: Průměrný měsíční průtok ve vybraných letech 2018, 2019 a 2020 v porovnání s průměrným měsíčním průtokem (2018-2020) a MZP pro jarní (J) a hlavní (H) sezonu na profilu Duchcov za normálové období 1981-2010 a 2014-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Jak již bylo zmíněno, pro oba profily byly MZP vypočítány na základě hodnot průtoků z normálového období 1981-2010. Do tohoto období však není zahrnuta nedávná epizoda sucha, která zasáhla území České republiky. Vzhledem k tomu, že v posledních letech došlo k výraznému poklesu průtoku v obou tocích, je nasnadě upravit i hodnoty MZP pro zachování základních vodohospodářských a ekologických funkcí daného vodního toku, neboť z výše uvedeného vyplývá, že hodnoty MZP odvozené na základě hodnot průtoků za normálové období 1981-2010 jsou v suchém nejen letním období posledních let nedosažitelné. Normálové období 1981-2010 se navíc nekryje s obdobím měření průtoku na profilu Lahošť a Duchcov. Proto byl rovněž proveden výpočet MZP na základě dostupných průměrných denních průtoků z limnigrafických stanic Lahošť a Duchcov

z let 2014-2020. Problém vysokých MZP by neřešil ani výpočet MZP z hydrologického období let 2006-2020, neboť je potřeba zachytit a stanovit MZP pro období s co nejnižšími průtoky, které jsou první polovinou sledovaného období let 2006-2020 navyšovány. Autorka práce si je vědoma metodické odlišnosti v délce trvání datové řady a záměrného nahrazení normálového období za období let 2014-2020. Důvodem je snaha o porovnání hodnot MZP vycházejících z dat normálového období 1981-2010 a MZP vycházejících z dat naměřených během epizody sucha v letech 2014-2020.

Hodnoty Q_{330d} , Q_{355d} a hodnota dlouhodobého průměrného průtoku (v tomto případě průměrný průtok z let 2014-2020), které vstupují do výpočtu MZP jsou k vidění v tabulce 21. Pro hlavní sezonu byl na profilu Lahošť stanoven MZP $0,036 \text{ m}^3/\text{s}$ (15 % Q_a 2014-2020) a pro jarní sezonu $0,039 \text{ m}^3/\text{s}$ (16 % Q_a 2014-2020). Na profilu Duchcov byl pro hlavní sezonu stanoven MZP $0,057 \text{ m}^3/\text{s}$ (18 % Q_a 2014-2018) a pro jarní sezonu MZP $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$ (20 % Q_a 2014-2020). Pokud by byl navrhovaný MZP v hlavní sezoně nižší než v sezoně jarní, byl by za MZP v sezoně jarní stanoven MZP jako u sezony hlavní (ODOK 2018a). Takto navrhované hodnoty MZP (viz obrázky 49 a 50) se zdají být dostupnější aktuálnímu stavu průtoků v období sucha, než navrhované hodnoty za normálové období 1981-2010, které při pozorovaných nízkých průtocích v posledních letech značně převyšují možnosti dosažení již samotného MZP.

Tab. 21: Prahové hodnoty průtoků [v m^3/s] za období 2014-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

profil	Q_{330d}	Q_{355d}	Q_{364d}	Q (2014-2020)
Lahošť	0,039	0,031	0,030	0,240
Duchcov	0,063	0,051	0,037	0,321

7.5 Homogenita datových řad přítoku, srážek a teploty vzduchu

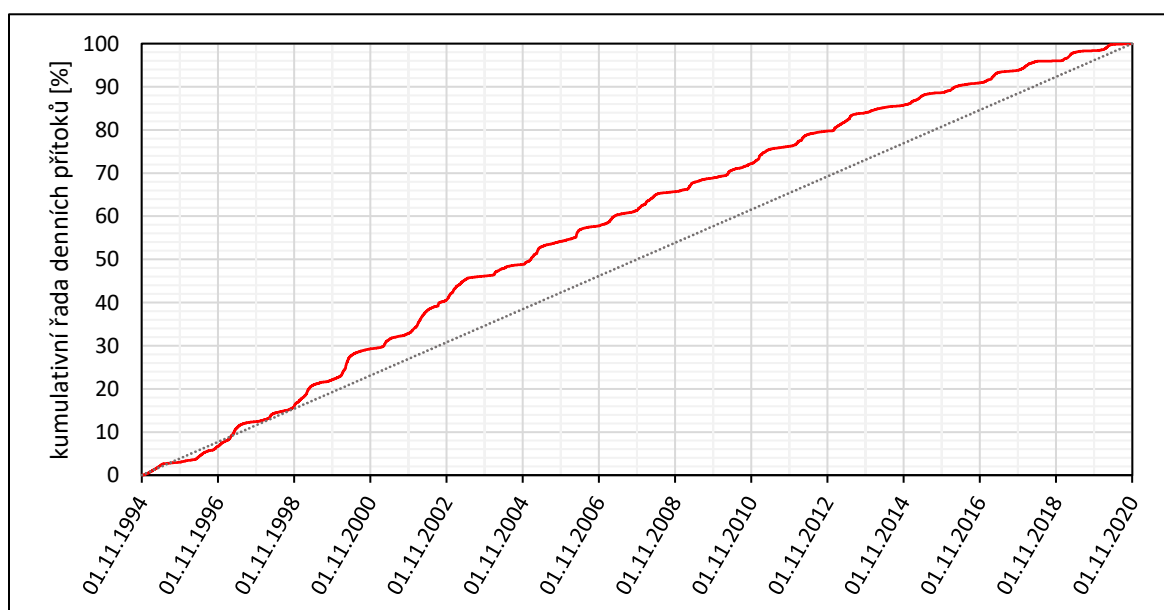
Homogenita byla testována na celých datových řadách přítoku do VD Všechlapy, srážek a teploty vzduchu z klimatologických stanic Všechlapy, Fláje, Janov a Libouchec. Testované řady jsou poměrně krátkého časového trvání. Nejdelší datová řada, které byla pro testování homogenity využita, představovala 26 let (1995-2020). V rámci zachování a testování co nejdelších řad nebylo přistoupeno k jejich sjednocení, neboť by došlo u některých datových řad ke zkrácení o téměř polovinu monitorovaného období. K vzájemnému srovnání výsledků však byly využity vždy stanice se stejnou délkou monitoringu, případně došlo k interpretaci výsledků u každé stanice zvlášť. Z tohoto důvodu se muselo k hodnocení vzájemných vztahů postupovat velice opatrně. Délka datové řady může přímo ovlivnit výsledky testů homogenity, neboť s rostoucí datovou řadou

uvažujeme i vyšší výskyt nehomogenit v dané řadě (Štěpánek, 2005). Barevně jsou v následujících tabulkách vždy označeny rozdílné výsledky použitých testů homogeneity.

7.5.1 Homogenita dat přítoku

V rámci hodnocení homogenizace dat přítoku do vodního díla Všechlapy byla nejprve zvolena vizualizace dat pomocí jednoduché součtové čáry. Metoda byla použita na data denních přítoků v rámci celého sledovaného období (1995-2020) a následně pro roční přítoky a roční srážky z nejbližší stanice Všechlapy, které Pettittův test označil jako nehomogenní.

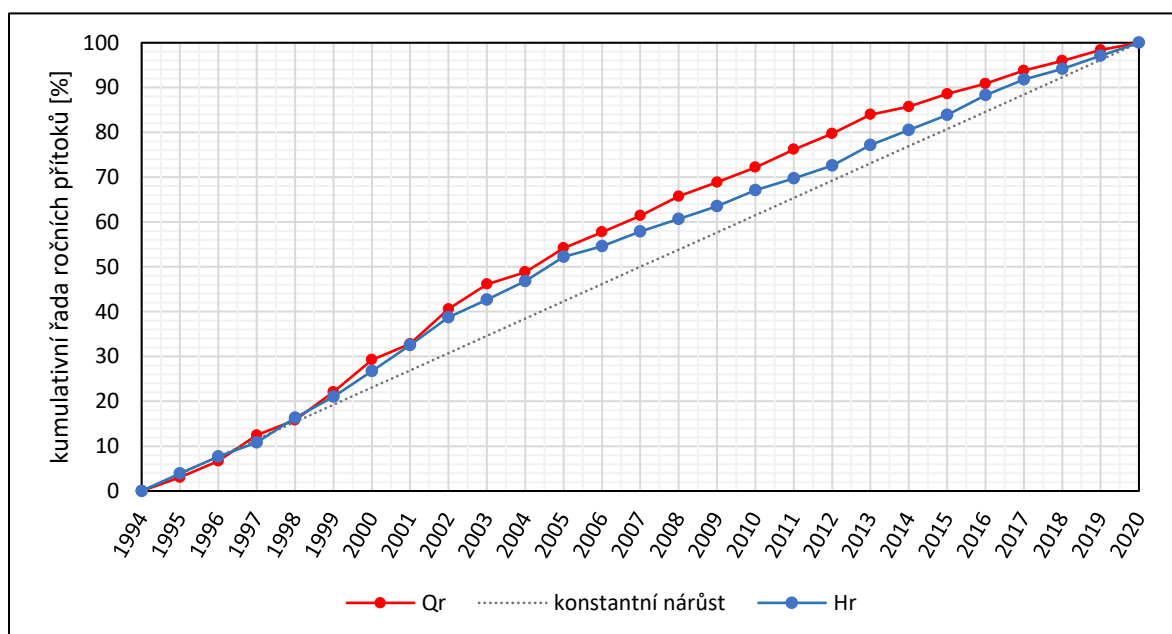
Řada kumulativních denních přítoků (obrázek 51) vykazuje zvýšenou abnormalitu v zobrazovaných datech od konce 90. let. Počátkem hydrologického roku 1999 dochází k postupnému navyšování přítoku do vodního díla Všechlapy. Od roku 2013 pak dochází k postupnému poklesu přítoku a přiblížení se přímce lineárnímu trendu. Pokles přítoku pozorujeme rovněž v hydrologickém roce 1996. Následně dochází k postupnému zvyšování přítoku až do zmiňovaného roku 2013, který byl jako zlomový rok označen Pettittovým i Buishandovým testem.



Obr. 51: Kumulativní řada denních přítoků do VD Všechlapy v rámci hydrologických let 1995-2020
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

K tomu, abychom mohli potvrdit či vyvrátit, zda zvýšený přítok souvisí se zvýšeným množstvím srážek je zapotřebí do grafu kumulativního přítoku vložit křivku jednoduché součtové čáry kumulativních srážek. Jednoduché součtové čáry byly sestaveny pro průměrné roční přítoky do vodního díla Všechlapy a průměrné roční srážky z meteorologické stanice Všechlapy pro období

1994-2020. V obrázku 52 si můžeme povšimnout, že křivka kumulativních srážek do hydrologického roku 2002 kopíruje tvar křivky kumulativních přítoků, pomineme-li nepatrnou odlišnost v průběhu křivek koncem 90. let. Od roku 2006 se rozdíl v průběhu křivek zvětšuje a křivka kumulativních srážek se začíná zvolna blížit lineárnímu trendu. Můžeme tak říci, že zvýšený přítok na přelomu 20. a 21. století souvisí se zvýšeným výskytem srážek. Nicméně přibližně od roku 2005 se křivky značně rozcházejí a pokles srážek nikterak výrazně nesnížil velikost přítoku, který byl až do zlomového roku 2013 téměř neměnný.



Obr. 52: Kumulativní řady ročních srážek za stanice Všechny a přítoku do VD Všechny
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Absolutní homogenita v řadách přítoku byla zkoumána i pomocí statických testů, které dokáží lépe posoudit, zda datové řady odpovídají předem stanoveným předpokladům, či nikoliv. Na 5 % hladině významnosti Pettittův test i Buishandův test shodně určily u měsíčních přítoků jako nehomogenní měsíce duben, květen, červenec, srpen a září (tabulka 22). Jako nehomogenní byly rovněž určeny sezonní a roční přítoky. Ve všech zkoumaných datových řadách přítoku Pettittův i Buishandův test určily stejné roky změny. Nejčastěji se vyskytujícím rokem změny byl v obou provedených testech označován rok 2013. Nehomogenitu řad především letních měsíců potvrdilo i testování datové řady teplého půlroku, který vyšel rovněž jako nehomogenní. Naopak chladný půlrok byl označen oběma testy, jako homogenní.

Tab. 22: Výsledky Pettittova testu a Buishandova testu absolutní homogenity - Všechny
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	Pettittův test				Buishandův test			
	K	p hodnota	rok změny	homogenita	S	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	82	0,257	2008	ano	5,940	0,247	2008	ano
prosinec	59	0,895	2003	ano	4,669	0,889	2003	ano
leden	47	0,569	2001	ano	3,027	0,580	2001	ano
únor	71	0,488	2005	ano	5,588	0,487	2005	ano
březen	88	0,167	2012	ano	5,624	0,173	2012	ano
duben	121	0,006	2009	ne	7,372	0,009	2009	ne
květen	140	0,001	2006	ne	8,659	0,001	2006	ne
červen	103	0,055	2013	ano	4,377	0,050	2013	ne
červenec	115	0,014	2013	ne	7,694	0,017	2013	ne
srpen	121	0,008	2013	ne	4,397	0,007	2013	ne
září	130	0,003	2012	ne	7,519	0,003	2012	ne
říjen	94	0,105	2002	ano	6,970	0,105	2002	ano
rok	129	0,004	2013	ne	7,599	0,002	2013	ne
chladný půlrok	82	0,241	2008	ano	6,343	0,233	2008	ano
teplý půlrok	130	0,002	2010	ne	7,780	0,004	2010	ne
jaro	126	0,004	2010	ne	7,841	0,004	2010	ne
léto	117	0,014	2013	ne	6,226	0,013	2013	ne
podzim	120	0,007	2008	ne	8,082	0,009	2008	ne
zima	45	0,486	2005	ano	4,048	0,488	2005	ano

7.5.2 Homogenita dat srážek

Pettittův test a Buishandův test byl rovněž použit k testování absolutní homogenity v datové řadě srážek ze stanice Všechny, Fláje, Janov a Libouchec. Nejdelší časovou řadu máme k dispozici ze stanice Všechny a Fláje (1995-2020). Ze stanic Janov a Libouchec máme k dispozici datovou řadu o srážkách pouze od roku 2006 do roku 2020.

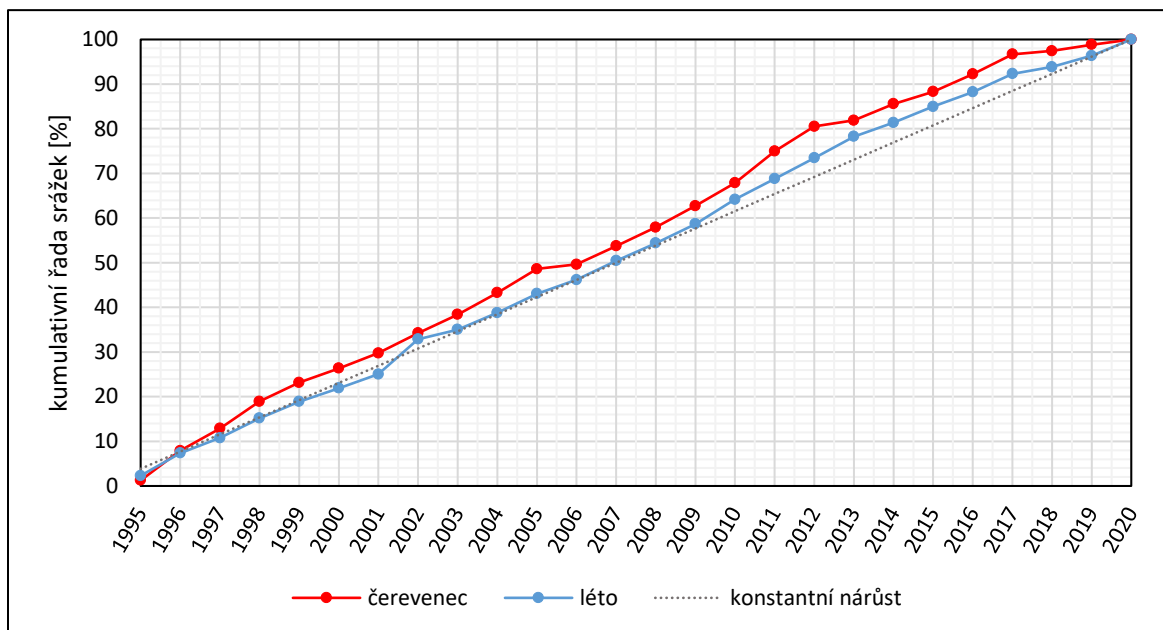
V tabulce 23 jsou k vidění výsledky testů provedených na datových řadách z měřicí stanice Všechny. Na základě Pettittova testu byla shodně s Buishandovým testem zjištěna nehomogenita v datové řadě měsíců únor a březen. V rámci sezonních dat byla nehomogenita zjištěna v chladném i teplém půlroce, ačkoliv léto, podzim i zima byla zároveň Pettittovým testem označena za homogenní. Buishandův test homogenitu v sezónních datech neshledal. Jako zlomový rok byl nejčastěji Pettittovým i Buishandovým testem označen rok 2005, což je ostatně viditelné i v obrázku 52. V datové řadě srážek ze stanice Všechny bylo zjištěno nejvíce nehomogenit ze všech testovaných srážkových řad.

Tab. 23: Výsledky Pettittova testu a Buishandova testu absolutní homogenity dat srážek - Všechny
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	Pettittův test				Buishandův test			
	K	p hodnota	rok změny	homogenita	S	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	55	0,930	2005	ano	5,071	0,175	2005	ano
prosinec	53	0,853	2013	ano	3,535	0,588	2013	ano
leden	53	0,843	2005	ano	4,416	0,302	2005	ano
únor	107	0,038	2007	ne	6,435	0,041	2005	ne
březen	107	0,034	2001	ne	7,162	0,002	2001	ne
duben	77	0,352	2003	ano	5,296	0,154	2003	ano
květen	75	0,385	2007	ano	4,858	0,232	2007	ano
červen	99	0,075	2005	ano	6,146	0,063	2005	ano
červenec	89	0,156	2005	ano	5,703	0,101	2005	ano
srpen	48	0,643	2010	ano	3,091	0,722	2010	ano
září	51	0,778	2002	ano	4,365	0,320	2001	ano
říjen	90	0,149	2004	ano	6,226	0,049	2004	ne
rok	135	0,001	2005	ne	8,952	0,001	2005	ne
chladný půlrok	131	0,002	2005	ne	8,750	0,001	2005	ne
teplý půlrok	105	0,046	2005	ne	7,265	0,015	2005	ne
jaro	119	0,013	2005	ne	7,299	0,002	2001	ne
léto	95	0,094	2005	ano	6,475	0,031	2005	ne
podzim	91	0,142	2005	ano	6,578	0,036	2003	ne
zima	103	0,060	2005	ano	7,205	0,014	2005	ne

U stanice Fláje byla Pettittovým testem nalezena homogenita ve všech testovaných datových řadách (tabulka 24). Nehomogenita byla zjištěna Buishandovým testem v červenci, kdy se datová řada láme v roce 2012, p hodnota je 0,045. Chyba odmítnutí nulové hypotézy tak může nastat s pravděpodobností 4,5 %.

Při pohledu na obrázek 53 si můžeme povšimnout odlišnosti mezi vyrovnanější letní homogenní datovou řadou a méně vyrovnanou datovou řadou měsíce červenec, která byla Buishandovým testem označena jako nehomogenní. Jako bod zlomu byl oběma testy zvolen rok 2012, což potvrzuje i graf jednoduchých součtových čar (obrázek 53). Ani letní datová řada, která byla vyhodnocena oběma testy jako homogenní, nemá pravidelný lineární tvar přímky, a to především od roku 2010, kdy dochází k mírnému odchýlení křivky od lineární přímky. Tato odchylka však byla statistickými testy vyhodnocena jako zanedbatelná a řada je tedy homogenní.



Obr. 53: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m pro stanici Fláje
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

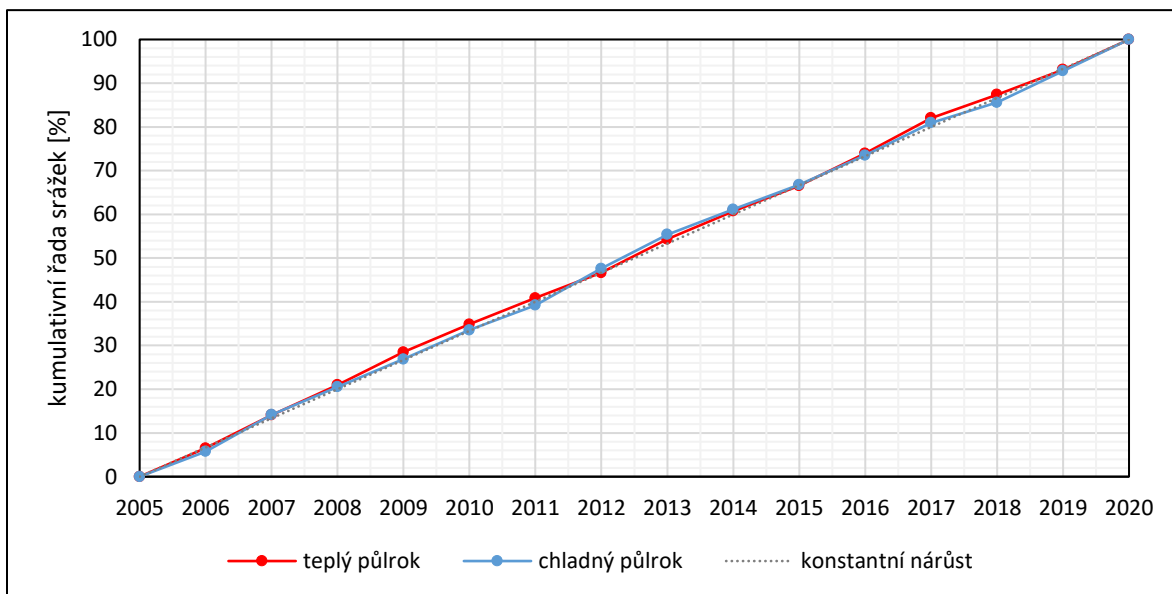
Tab. 24: Výsledky Pettittova testu a Buishandova testu absolutní homogenity dat srážek - Fláje
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	Pettittův test				Buishandův test			
	K	p hodnota	rok změny	homogenita	S	P hodnota	rok změny	homogenita
listopad	47	0,590	2011	ano	3,417	0,625	2011	ano
prosinec	74	0,417	2008	ano	4,434	0,313	2008	ano
leden	74	0,401	2002	ano	4,880	0,213	2002	ano
únor	60	0,839	2002	ano	3,626	0,554	2009	ano
březen	64	0,720	2010	ano	4,629	0,246	2000	ano
duben	44	0,461	2007	ano	2,605	0,878	2017	ano
květen	84	0,223	2014	ano	4,917	0,205	2014	ano
červen	38	0,219	2002	ano	3,726	0,543	2011	ano
červenec	98	0,079	2012	ano	6,419	0,045	2012	ne
srpen	62	0,777	2004	ano	3,032	0,776	2011	ano
září	46	0,541	2002	ano	2,351	0,935	2002	ano
říjen	70	0,521	2012	ano	4,723	0,246	2012	ano
rok	51	0,756	2013	ano	3,517	0,580	2013	ano
chladný půlrok	51	0,758	1997	ano	3,507	0,596	1997	ano
teplý půlrok	86	0,194	2014	ano	4,920	0,195	2014	ano
jaro	79	0,303	2015	ano	4,930	0,211	2010	ano
léto	69	0,551	2013	ano	4,249	0,358	2013	ano
podzim	40	0,285	2006	ano	2,703	0,858	2012	ano
zima	59	0,883	1997	ano	3,768	0,493	1997	ano

U stanice Janov byla zjištěna Pettittovým testem absolutní homogenita v celých datových řadách srážek. Homogenitu datové řady následně potvrdil i Buishandův test. Výsledky obou testů jsou k vidění v tabulce 25. Jako příklad pro vizualizaci homogenních datových řad byl sestrojen graf jednoduchých součtových čar srážek v teplém a chladném půlroce (obrázek 54), které Pettittův i Buishandův test vyhodnotil jako homogenní. Můžeme si povšimnout, že obě křivky kopírují až na drobné odchylky tvar linie konstantního nárůstu. Jako zlomovým rokem byl u Pettittova testu nejčastěji označován rok 2009. Buishandovým testem byl nejčastěji označován jako zlomový rok 2010.

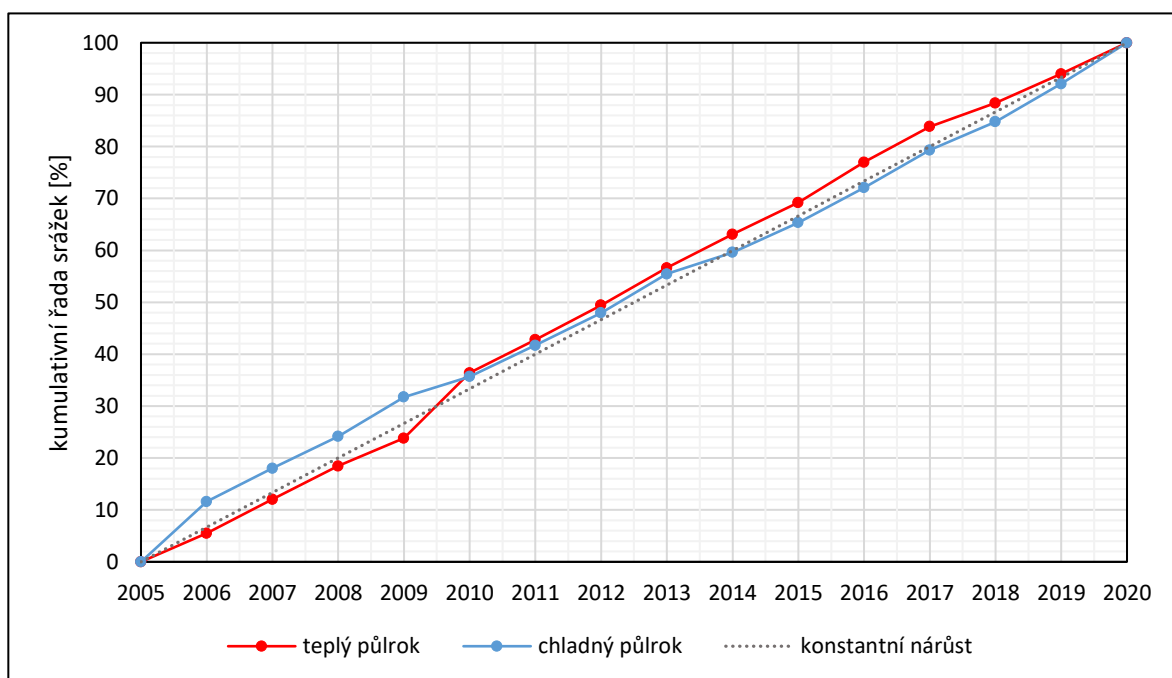
*Tab. 25: Výsledky Pettittova testu a Buishandova testu absolutní homogenity dat srážek - Janov
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)*

časová řada	Pettittův test				Buishandův test			
	K	p hodnota	rok změny	homogenita	S	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	22	0,886	2011	ano	2,400	0,676	2011	ano
prosinec	22	0,869	2016	ano	2,658	0,556	2016	ano
leden	26	0,735	2011	ano	3,354	0,268	2011	ano
únor	24	0,943	2009	ano	2,576	0,599	2019	ano
březen	24	0,922	2010	ano	2,804	0,523	2010	ano
duben	22	0,883	2018	ano	2,208	0,745	2017	ano
květen	36	0,187	2014	ano	3,806	0,176	2014	ano
červen	18	0,467	2017	ano	1,935	0,873	2017	ano
červenec	34	0,256	2012	ano	3,936	0,134	2012	ano
srpen	16	0,294	2010	ano	2,404	0,695	2010	ano
září	20	0,661	2009	ano	1,303	0,992	2009	ano
říjen	32	0,349	2012	ano	3,819	0,181	2012	ano
rok	14	0,166	2013	ano	2,018	0,839	2013	ano
chladný půlrok	28	0,594	2015	ano	2,974	0,438	2015	ano
teplý půlrok	34	0,259	2014	ano	3,838	0,154	2014	ano
jaro	40	0,096	2009	ano	4,466	0,064	2010	ano
léto	36	0,183	2017	ano	4,137	0,096	2017	ano
podzim	18	0,478	2012	ano	2,441	0,669	2012	ano
zima	26	0,738	2011	ano	2,840	0,488	2011	ano



Obr. 54: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m pro stanici Janov
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Všechny analyzované datové řady srážek ze stanice Libouchec byly rovněž Pettittovým testem a následně i Buishandovým testem vyhodnoceny jako homogenní (tabulka 26). K vizualizaci homogenních datových řad byly zvoleny sezonní řady srážek pro chladný a teplý půlrok (obrázek 55). Dle jednoduchých součtových čar bychom mohly obě křivky subjektivně vyhodnotit jako nehomogenní, neboť se výrazně odchyľují od linie konstantního nárůstu. Statistickými testy však byly tyto odchylky zanedbány. V chladném půlroce byl nalezen bod zlomu v roce 2009, v teplém půlroce v roce 2017, což lze vyčíst i ze zmiňované křivky kumulativních srážek.



Obr. 55: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m pro stanici Libouchec
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Tab. 26: Výsledky Pettittova testu a Buishandova testu absolutní homogenity dat srážek - Libouchec
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	Pettittův test				Buishandův test			
	K	p hodnota	rok změny	homogenita	Q	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	28	0,596	2008	ano	3,444	0,267	2011	ano
prosinec	18	0,465	2013	ano	2,526	0,674	2013	ano
leden	28	0,587	2011	ano	2,717	0,531	2011	ano
únor	28	0,593	2009	ano	2,697	0,522	2009	ano
březen	34	0,254	2010	ano	3,674	0,206	2009	ano
duben	20	0,654	2017	ano	2,114	0,789	2018	ano
květen	22	0,872	2014	ano	2,619	0,588	2014	ano
červen	42	0,063	2011	ano	4,116	0,117	2011	ano
červenec	30	0,487	2017	ano	3,430	0,282	2017	ano
srpen	24	0,940	2010	ano	3,106	0,370	2010	ano
září	20	0,675	2009	ano	1,667	0,963	2016	ano
říjen	30	0,459	2012	ano	3,262	0,322	2014	ano
rok	22	0,891	2013	ano	2,958	0,412	2013	ano
chladný půlrok	20	0,659	2009	ano	2,926	0,462	2009	ano
teplý půlrok	28	0,597	2017	ano	2,201	0,811	2017	ano
jaro	32	0,355	2010	ano	3,487	0,252	2010	ano
léto	22	0,870	2009	ano	1,930	0,931	2017	ano
podzim	16	0,302	2007	ano	1,419	0,986	2017	ano
zima	20	0,670	2013	ano	2,522	0,650	2007	ano

7.5.3 Homogenita dat teploty vzduchu

K testování absolutní homogenity datových řad teploty vzduchu ze stanic Všechny, Fláje, Janov a Libouchec byl využit SNHT test, který se hodí pro datové řady s možným výskytem záporných hodnot. V programu AnClim se jedná konkrétně o SNHT – Single Series (Shift). Testování probíhalo na celých řadách průměrných měsíčních, sezonních a ročních hodnot teploty vzduchu. Jako kontrolní test byl zvolen Pettittův test.

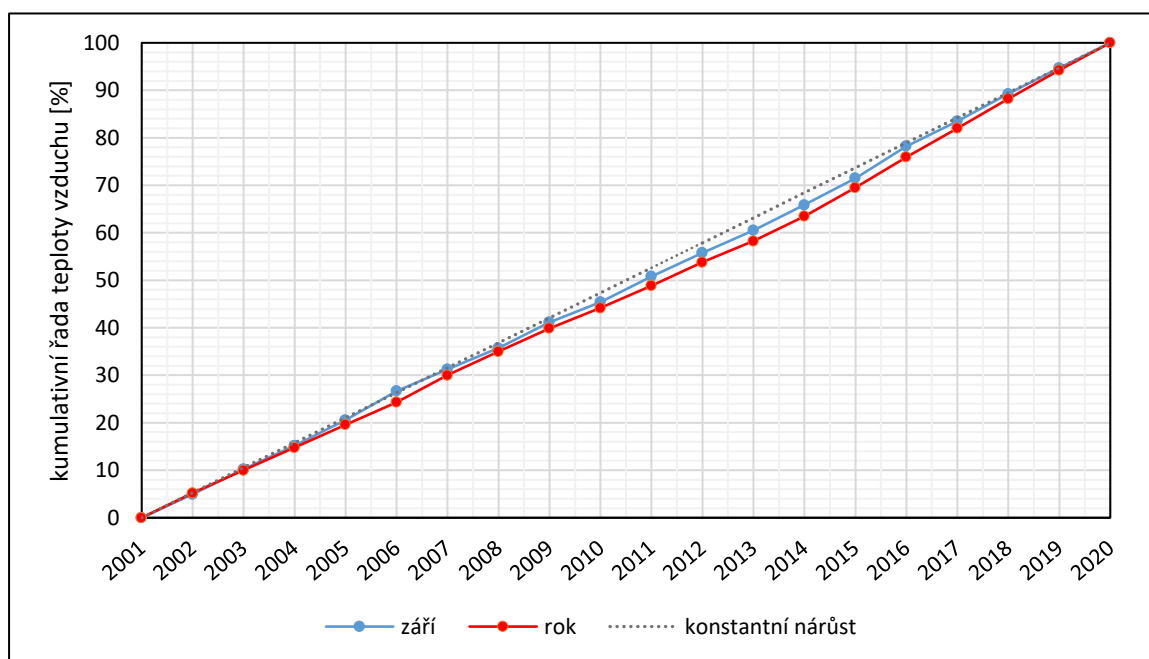
Pro vizualizaci statistického testování byly opět zvoleny jednoduché součtové čáry kumulativních teplot vzduchu. Stejně jako v přechodném testování absolutní homogenity dat přítoků a srážek, byla u datových řad teploty vzduchu zvolena hladina významnosti 5 % a spolehlivost se odvíjela na základě hodnot v tabulce 27.

Tab. 27: Úroveň spolehlivosti SNHT testu s 5 % hladinou významnosti
(Zdroj: vlastní zpracování, AnClim)

n	úroveň spolehlivosti	n	úroveň spolehlivosti
10	5,70	60	8,65
20	6,95	80	8,95
40	8,10	100	9,15

Jako homogenní vyhodnotil SNHT test řadu průměrné teploty vzduchu u stanice Všechny především v první polovině roku v měsících leden, únor, březen, duben a květen (tabulka 28). Jako homogenní byla SNHT testem označena i řada průměrné teploty vzduchu v měsíci září, což následně potvrdil i Pettittův test. Podle SNHT testu je homogenní i řada jarní průměrné teploty vzduchu se zlomem v roce 2013, p hodnota je 0,066.

Pro vizualizaci homogenizace pomocí jednoduchých součtových čar byla vybrána řada průměrné zářijové teploty vzduchu, kterou SNHT test označil jako homogenní a řada průměrné roční teploty vzduchu, která byla tím samým testem označena jako nehomogenní (obrázek 56). Můžeme si povšimnout, že homogenní řada průměrné zářijové teploty vzduchu až na drobné odchýlení mezi lety 2010-2016 kopíruje linii konstantního nárůstu. U statisticky nehomogenní řady průměrných ročních teplot vzduchu je odchýlení křivky od lineárního nárůstu nepatrně větší. Na začátku a na konci datových řada obě křivky kopírují linii konstantního nárůstu. Zlomovým rokem byl oběma testy nejčastěji označován rok 2014.



Obr. 56: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Všechny
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Tab. 28: Výsledky SNHT testu a Pettittova testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Všechny (Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	SNHT test				Pettittův test			
	T_0	p hodnota	rok změny	homogenita	K	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	8,367	0,013	2014	ne	68	0,021	2015	ne
prosinec	9,168	0,005	2014	ne	80	0,005	2014	ne
leden	2,412	0,674	2017	ano	34	0,383	2012	ano
únor	3,839	0,296	2015	ano	38	0,301	2014	ano
březen	4,399	0,288	2013	ano	54	0,089	2014	ano
duben	4,992	0,230	2017	ano	48	0,147	2007	ano
květen	2,926	0,519	2014	ano	34	0,383	2015	ano
červen	9,852	0,003	2015	ne	68	0,021	2015	ne
červenec	7,121	0,033	2014	ne	68	0,021	2013	ne
srpen	9,838	0,002	2014	ne	70	0,017	2015	ne
září	4,763	0,260	2013	ano	58	0,061	2014	ano
říjen	10,755	0,001	2013	ne	80	0,005	2014	ne
rok	13,794	0,000	2014	ne	84	0,004	2014	ne
chladný půlrok	10,486	0,003	2013	ne	64	0,003	2014	ne
teplý půlrok	12,929	<0,0001	2014	ne	76	0,008	2015	ne
jaro	6,515	0,066	2013	ano	62	0,033	2014	ne
léto	13,257	0,000	2014	ne	76	0,008	2015	ne
podzim	11,469	<0,0001	2013	ne	72	0,003	2014	ne
zima	6,951	0,041	2014	ne	82	0,041	2014	ne

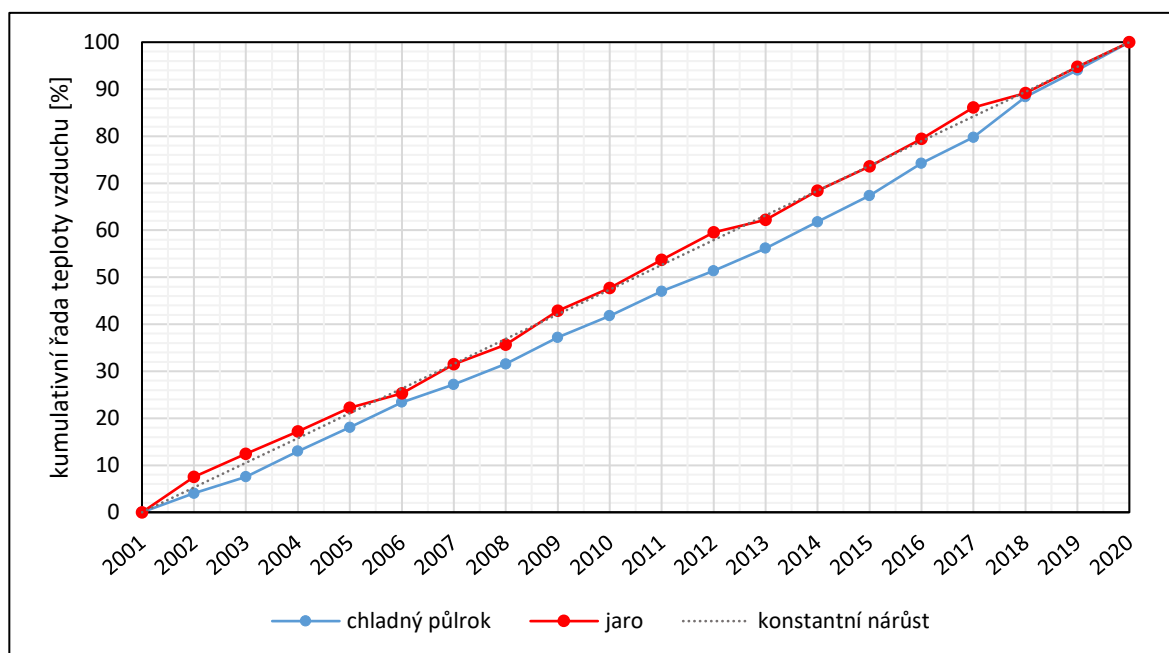
O něco více homogenit bylo nalezeno pomocí SNHT testu v datových řadách průměrné teploty na stanici Fláje. Nehomogenita pak byla nalezena pouze v měsících červen, srpen a prosinec. Za nehomogenní byly rovněž označeny sezonní datové řady chladného a teplého půlroku, roční průměry hodnot a letní průměrné teploty vzduchu.

Roky zlomu určené SNHT testem a Pettittovým testem se neshodují. Výjimku tvoří měsíc červen a teplý půlrok, u kterých byl bod zlomu určen v roce 2015 a 2014. Výsledky obou testů zobrazuje tabulka 29 na následující straně.

Na obrázku 57 jsou zobrazeny kumulativní součty za jaro a podzim. Jaro je dle Pettittova testu homogenní, což bylo potvrzeno i grafem jednoduchých součtových čar. Oproti tomu statisticky nehomogenní podzim vykazuje viditelné odchylky od lineárního konstantního nárůstu, ten však byl SNHT testem vyhodnocen jako homogenní s bodem zlomu v roce 2013.

Tab. 29: Výsledky SNHT testu a Pettittova testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Fláje
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	SNHT test				Pettittův test			
	T_0	p hodnota	rok změny	homogenita	K	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	4,723	0,338	2008	ano	46	0,172	2009	ano
prosinec	7,454	0,023	2013	ne	72	0,013	2014	ne
leden	2,236	0,716	2017	ano	30	0,473	2014	ano
únor	4,484	0,226	2015	ano	56	0,074	2016	ano
březen	5,523	0,168	2002	ano	30	0,473	2014	ano
duben	1,171	0,955	2018	ano	24	0,620	2009	ano
květen	4,484	0,209	2018	ano	32	0,427	2019	ano
červen	10,713	0,003	2015	ne	66	0,027	2015	ne
červenec	3,533	0,465	2012	ano	50	0,125	2013	ano
srpen	8,117	0,024	2014	ne	72	0,013	2015	ne
září	5,574	0,187	2015	ano	52	0,106	2014	ano
říjen	6,384	0,149	2016	ano	58	0,061	2013	ano
rok	11,392	0,001	2013	ne	78	0,006	2014	ne
chladný půlrok	8,117	0,017	2013	ne	66	0,027	2014	ne
teplý půlrok	11,560	0,000	2014	ne	74	0,011	2014	ne
jaro	3,106	0,473	2002	ano	20	0,717	2009	ano
léto	11,747	0,000	2014	ne	78	0,006	2015	ne
podzim	8,226	0,119	2013	ano	78	0,006	2014	ne
zima	6,291	0,058	2013	ano	64	0,033	2014	ne



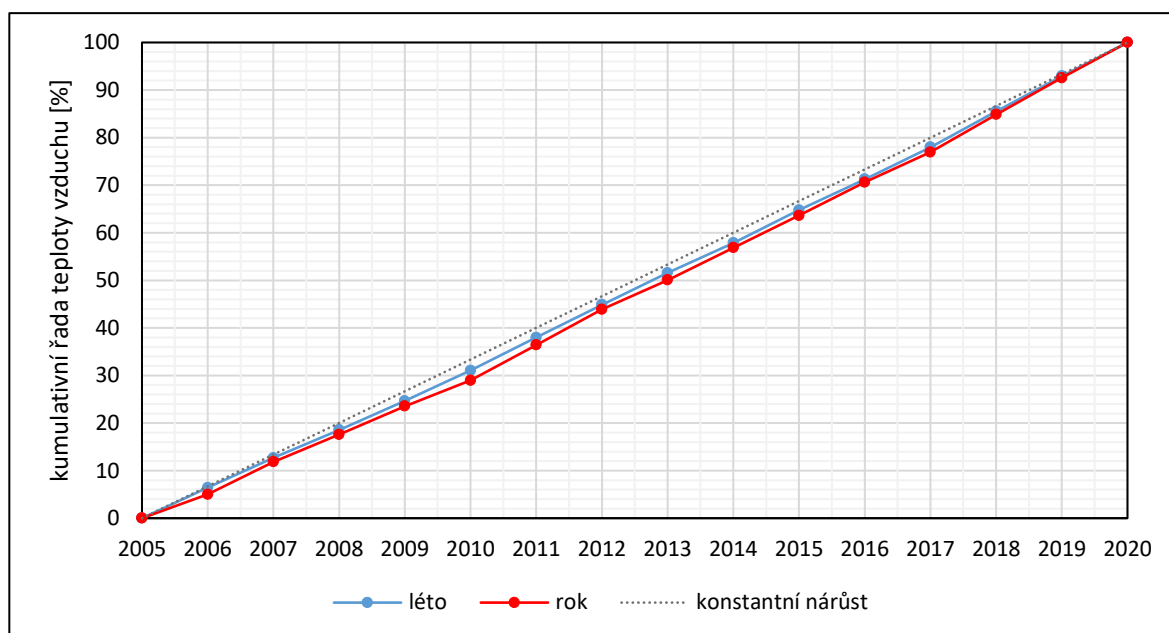
Obr. 57: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Fláje
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

U stanice Janov (tabulka 30) byla SNHT testem nalezena nehomogenita pouze v ročních a letních průměrných teplotách vzduchu. Pettittův test označil kromě zmíněných řad jako nehomogenní rovněž řadu teplého půlroku s p hodnotou 0,029 a rokem zlomu 2011. Pro ukázkou homogenity teploty vzduchu pomocí jednoduché součtové čáry byla vybrána řada průměrných ročních a letních hodnot (obrázek 58). Obě řady byly SNHT testem označeny jako nehomogenní. Pettittův test však označil roční řadu teploty vzduchu jako homogenní.

Jednoduché součtové čáry potvrzují výsledky SNHT testu. Odchýlení od konstantního nárůstu není na první pohled zcela zjevné, neboť obě křivky se velice těsně přibližují konstantní linii. U kumulativní řady teploty vzduchu si můžeme povšimnout zlomu v roce 2010, který byl jako zlomový rok označen oběma provedenými statistickými testy.

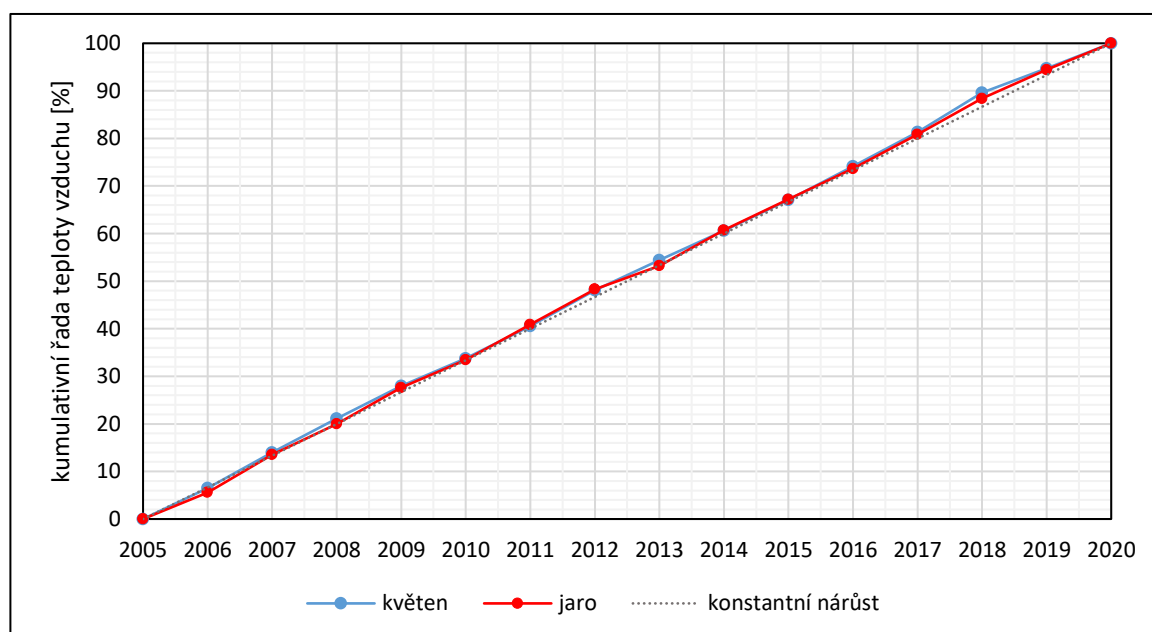
Tab. 30: Výsledky SNHT testu a Pettittova testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Janov
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	SNHT test				Pettittův test			
	T_0	p hodnota	rok změny	homogenita	K	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	4,153	0,260	2006	ano	32	0,181	2011	ano
prosinec	6,205	0,059	2011	ano	44	0,040	2012	ne
leden	4,057	0,271	2006	ano	14	0,721	2007	ano
únor	2,791	0,448	2006	ano	20	0,513	2019	ano
březen	4,015	0,227	2006	ano	28	0,271	2011	ano
duben	1,906	0,790	2006	ano	18	0,583	2009	ano
květen	2,467	0,633	2018	ano	22	0,446	2019	ano
červen	5,772	0,183	2016	ano	36	0,115	2016	ano
červenec	3,934	0,323	2009	ano	28	0,271	2013	ano
srpen	5,554	0,100	2014	ano	40	0,069	2011	ano
září	2,614	0,552	2017	ano	20	0,513	2011	ano
říjen	6,046	0,195	2016	ano	42	0,053	2011	ano
rok	7,521	0,020	2010	ne	42	0,053	2010	ano
chladný půlrok	6,191	0,117	2006	ano	32	0,181	2011	ano
teplý půlrok	5,159	0,219	2017	ano	46	0,029	2011	ne
jaro	3,525	0,347	2006	ano	22	0,446	2011	ano
léto	7,750	0,012	2017	ne	46	0,029	2011	ne
podzim	5,971	0,063	2010	ano	40	0,069	2011	ano
zima	4,960	0,126	2006	ano	26	0,324	2012	ano



Obr. 58: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Janov
(Zdroj: vlastní zpracování dat povodí Ohře)

Nehomogenita u stanice Libouchec byla zjištěna SNHT testem pouze v květnu, ostatní řady byly SNHT testem označeny jako homogenní (tabulka 31). Homogenitu řad následně potvrdil i Pettittův test, který jako homogenní vyhodnotil i SNHT testem nehomogenní květen. Pro stanici Libouchec byly vybrány ukázkové součtové čáry (obrázek 59) pro květen a jaro, u kterých SNHT test určil stejný rok zlomu 2018.



Obr. 59: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Libouchec
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

Tab. 31: Výsledky SNHT testu a Pettittova testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Libouchec
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	SNHT test				Pettittův test			
	To	p hodnota	rok změny	homogenita	K	p hodnota	rok změny	homogenita
listopad	2,070	0,776	2006	ano	18	0,583	2017	ano
prosinec	3,345	0,396	2013	ano	30	0,223	2014	ano
leden	2,726	0,564	2006	ano	14	0,721	2007	ano
únor	1,765	0,830	2013	ano	18	0,583	2014	ano
březen	1,941	0,740	2006	ano	14	0,721	2014	ano
duben	0,932	0,978	2011	ano	20	0,513	2018	ano
květen	6,917	0,021	2018	ne	26	0,324	2019	ano
červen	1,536	0,826	2015	ano	22	0,446	2009	ano
červenec	6,457	0,048	2006	ano	22	0,446	2018	ano
srpen	3,266	0,421	2014	ano	24	0,383	2009	ano
září	3,445	0,373	2006	ano	16	0,653	2011	ano
říjen	3,787	0,297	2012	ano	38	0,090	2013	ano
rok	2,962	0,567	2013	ano	34	0,146	2014	ano
chladný půlrok	3,647	0,309	2013	ano	34	0,146	2014	ano
teplý půlrok	5,198	0,115	2019	ano	20	0,513	2019	ano
jaro	1,972	0,749	2018	ano	18	0,583	2013	ano
léto	3,871	0,289	2019	ano	18	0,583	2015	ano
podzim	1,816	0,806	2012	ano	20	0,513	2013	ano
zima	13,824	<0,0001	2006	ano	28	0,271	2014	ano

7.6 Trendy v časových řadách přítoku, srážek a teploty vzduchu

Trend byl stejně jako homogenita testován v celých časových řadách přítoku, srážek a teploty vzduchu z měřících stanic Všechny, Fláje, Janov a Libouchec v nadstavbovém programu XLSTAT v MS Excel. K testování trendu byl vybrán Mann-Kendallův test. Významnost trendu byla určena na 5 % hladině významnosti. Je třeba zmínit, že téměř ve všech řadách byla v předchozích analýzách zaznamenána určitá nehomogenita dat, která by mohla ovlivnit výsledky testování trendu. Jak již bylo zmíněno, tak ani u testování trendu nedošlo ke sjednocení datových řad, neboť by došlo k jejich výraznému zkrácení podle nejkratší řady čítající pouze 15 let monitoringu. Dle Volkové (2010) význam Mann-Kendalova testu klesá v závislosti s klesajícím počtem testovaných členů, což je nutno brát v úvahu i v případě námi testovaných časových řad.

7.6.1 Trend v datech přítoku

Datová řada přítoku do VD Všechny vykazuje sestupnou tendenci (tabulka 32). Klesající trend přítoku byl zaznamenán u většiny měsíců v roce (od března do října). Následně i v teplém půlroce, v řadě průměrných ročních přítoků, na jaře, v létě i na podzim. Výsledky analýzy tak nasvědčují snižování odtoku nejen v letním období, kdy bývá hydrologické sucho nejmarkantnější, ale i v průběhu celého roku kromě zimního období, kdy nebyl zaznamenán žádný signifikantní trend.

Tab. 32: Detekce trendu v datové řadě přítoku do VD Všechny (Zdroj: vlastní zpracování dat POH)

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	26	-0,237	0,094	–
prosinec	26	-0,151	0,290	–
leden	26	0,046	0,758	–
únor	26	-0,138	0,332	–
březen	26	-0,286	0,043	↓
duben	26	-0,415	0,003	↓
květen	26	-0,588	0,001	↓
červen	26	-0,446	0,002	↓
červenec	26	-0,526	0,000	↓
srpen	26	-0,366	0,009	↓
září	26	-0,465	0,001	↓
říjen	26	-0,372	0,008	↓
rok	26	-0,458	0,001	↓
chladný půlrok	26	-0,280	0,047	–
teplý půlrok	26	-0,520	0,000	↓
jaro	26	-0,458	0,001	↓
léto	26	-0,465	0,001	↓
podzim	26	-0,471	0,001	↓
zima	26	-0,108	0,454	–

7.6.2 Trend v datech srážek

V datových řadách srážek byl ze všech testovaných řad nalezen signifikantní trend pouze u stanice Všechny. V datových řadách srážek ostatních stanic (Fláje, Janov a Libouchec) nezaznamenal Mann-Kendallův test žádný trend.

Klesající trend byl u stanice Všechny zaznamenán v únoru a v červnu. Tento trend se následně projevil i v časové řadě teplého půlroku, ročních průměrných a jarních hodnot srážek (tabulka 33). Zmíněné řady (kromě června) byly rovněž Pettittovým testem označeny jako nehomogenní. Pokud bychom zvýšili hodnotu signifikace na 10 % mohli bychom rovněž přijmout klesající trend u letních průměrných hodnot srážek, které mají nízkou p hodnotu. U ostatních námi sledovaných stanic se již nízké hodnoty p nevyskytují. Ani při zvýšení hladiny významnosti na 10 % bychom nezaznamenaly trend v datových řadách u žádné ze sledovaných měřících stanic. Výsledky Mann-Kendalova testu v řadách srážek ze stanic Fláje, Janov a Libouchec jsou k vidění na následující straně v tabulce 34. Pro kontrolu byl rovněž Mann-Kendallův test aplikován i na řady srážkových úhrnů na stanici Všechny pro období 2006-2020, tedy pro období shodné se stanicemi Janov a Libouchec. Pro období 2006-2020 byl signifikantní trend u stanice Všechny zaznamenán pouze v řadě jarních srážek (testovací statistika tau rovna 1 a hodnota p rovna 0,0095).

Tab. 33: Detekce trendu v datové řadě srážek ze stanice Všechny
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	26	-0,114	0,427	–
prosinec	26	-0,083	0,567	–
leden	26	0,015	0,930	–
únor	26	-0,329	0,019	↓
březen	26	-0,163	0,252	–
duben	26	-0,212	0,134	–
květen	26	-0,218	0,123	–
červen	26	-0,280	0,047	↓
červenec	26	-0,200	0,158	–
srpen	26	-0,040	0,791	–
září	26	-0,062	0,675	–
říjen	26	-0,058	0,692	–
rok	26	-0,305	0,031	↓
chladný půlrok	26	-0,225	0,113	–
teplý půlrok	26	-0,323	0,022	↓
jaro	26	-0,403	0,004	↓
léto	26	-0,274	0,052	–
podzim	26	-0,169	0,234	–
zima	26	-0,138	0,332	–

Tab. 34: Detekce trendu v datové řadě srážek ze stanice Fláje (1995-2020), Janov a Libouchec (2006-2020) (Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

KS Fláje				
časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	26	-0,071	0,628	–
prosinec	26	0,212	0,134	–
leden	26	0,188	0,186	–
únor	26	-0,163	0,252	–
březen	26	-0,058	0,692	–
duben	26	0,012	0,947	–
květen	26	-0,132	0,355	–
červen	26	-0,003	1,000	–
červenec	26	-0,231	0,103	–
srpen	26	0,071	0,628	–
září	26	-0,046	0,758	–
říjen	26	0,138	0,332	–
rok	26	0,065	0,659	–
chladný půlrok	26	0,126	0,378	–
teplý půlrok	26	-0,132	0,355	–
jaro	26	-0,231	0,103	–
léto	26	-0,015	0,930	–
podzim	26	0,058	0,692	–
zima	26	0,095	0,508	–

KS Janov				
časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	15	-0,124	0,553	–
prosinec	15	0,143	0,488	–
leden	15	0,162	0,428	–
únor	15	-0,124	0,553	–
březen	15	0,067	0,767	–
duben	15	-0,067	0,767	–
květen	15	-0,238	0,235	–
červen	15	-0,010	1,000	–
červenec	15	-0,276	0,166	–
srpen	15	-0,029	0,921	–
září	15	0,200	0,322	–
říjen	15	0,314	0,113	–
rok	15	-0,048	0,843	–
chladný půlrok	15	0,295	0,138	–
teplý půlrok	15	-0,295	0,138	–
jaro	15	-0,295	0,138	–
léto	15	-0,257	0,198	–
podzim	15	0,067	0,767	–
zima	15	0,238	0,235	–

KS Libouchec				
časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	15	-0,314	0,113	–
prosinec	15	0,010	1,000	–
leden	15	0,181	0,373	–
únor	15	-0,200	0,322	–
březen	15	-0,086	0,692	–
duben	15	-0,124	0,553	–
květen	15	-0,067	0,767	–
červen	15	0,371	0,060	–
červenec	15	-0,268	0,181	–
srpen	15	-0,067	0,767	–
září	15	-0,029	0,921	–
říjen	15	0,314	0,113	–
rok	15	-0,200	0,322	–
chladný půlrok	15	0,029	0,921	–
teplý půlrok	15	-0,067	0,767	–
jaro	15	-0,219	0,276	–
léto	15	0,010	1,000	–
podzim	15	-0,086	0,692	–
zima	15	-0,067	0,767	–

7.6.3 Trend v datech teploty vzduchu

Časové řady teploty vzduchu vykazují oproti srážkám více řad s výskytem trendu, který byl v případě teploty vzduchu zachycen na všech zkoumaných měřicích stanicích kromě stanice Libouchec. Všechny statisticky zachycené trendy mají stoupající charakter.

V devatenáctileté datové řadě teploty vzduchu ze stanice Všechny byl zachycen stoupající trend u měsíců duben, říjen a prosinec. Následně Mann-Kendallův test odhalil stoupající trend v řadě chladného půlroku, ročních průměrů, na jaře, na podzim i v zimě. Výsledky Mann-Kendallova testu ze stanice Všechny jsou k vidění v tabulce 35. Shodný trend by u stanic Všechny a Fláje (stanice se stejnou délkou monitoringu) detekován v chladné polovině roku. Konkrétně v měsících říjen a prosinec, rovněž i v řadě podzimních měsíců, v chladném půlroce a ročních teplot vzduchu.

Tab. 35: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu ze stanice Všechny
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	19	0,333	0,056	–
prosinec	19	0,532	0,002	↑
leden	19	0,205	0,234	–
únor	19	0,181	0,294	–
březen	19	0,251	0,142	–
duben	19	0,357	0,036	↑
květen	19	0,053	0,780	–
červen	19	0,275	0,108	–
červenec	19	0,263	0,124	–
srpen	19	0,251	0,142	–
září	19	0,287	0,093	–
říjen	19	0,439	0,010	↑
rok	19	0,368	0,030	↑
chladný půlrok	19	0,415	0,014	↑
teplý půlrok	19	0,263	0,124	–
jaro	19	0,345	0,042	↑
léto	19	0,298	0,080	–
podzim	19	0,427	0,012	↑
zima	19	0,357	0,036	↑

Vzestupná tendence teploty vzduchu byla u stanice Fláje zaznamenána v červnu a v srpnu, dále v říjnu a v prosinci. Trend zvyšující se teploty vzduchu v letních měsících byl testován na datové řadě teplého půlroku a letních měsíců, kde byla rovněž potvrzena vzestupná tendence spolu s datovou řadou průměrné roční teploty vzduchu a řadou představující podzimní měsíce. Výsledky statistického testování trendu u stanice Fláje jsou k vidění v tabulce 36.

Tab. 36: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu ze stanice Fláje
(Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	19	0,228	0,184	–
prosinec	19	0,474	0,005	↑
leden	19	0,146	0,401	–
únor	19	0,287	0,093	–
březen	19	0,123	0,484	–
duben	19	0,053	0,780	–
květen	19	0,053	0,780	–
červen	19	0,415	0,014	↑
červenec	19	0,228	0,184	–
srpen	19	0,357	0,036	↑
září	19	0,310	0,069	–
říjen	19	0,368	0,030	↑
rok	19	0,474	0,005	↑
chladný půlrok	19	0,333	0,049	↑
teplý půlrok	19	0,450	0,008	↑
jaro	19	0,006	1,000	–
léto	19	0,439	0,010	↑
podzim	19	0,532	0,002	↑
zima	19	0,333	0,050	–

Obdobné výsledky, jako u stanice Fláje, byly detekovány i u nedaleko vzdálené stanice Janov. Výsledky se liší pouze u měsíce červen, u kterého nebyl na stanici Janov zaznamenán žádný trend. Je nutno poznamenat, že obě zmiňované stanice mají odlišnou délku datové řady, z tohoto důvodu nelze potvrdit, či vyvrátit regionální změnu v naměřených řadách teploty vzduchu. I přesto byl u stanice Janov na lokální úrovni detekován vzestupný trend u měsíců srpen, říjen, prosinec. Následně i v datové řadě teplého půlroku, průměrných ročních tepot vzduchu a v letní a podzimní datové řadě.

Ačkoliv se datové řady teploty vzduchu u stanice Libouchec vyznačovaly vysokou homogenitou, trendová složka nebyla u žádné řady na této stanici prokázána. To může značit o jistém specifiku místního klimatu v místě měřící stanice, nicméně pro toto tvrzení by bylo nutné analyzovat trend v nejbližších okolních měřících stanicích s delší časovou řadou monitoringu. Výsledky analýzy trendů stanice Janov a Libouchec jsou k vidění v tabulce 37.

Tab. 37: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu na stanicích Janov a Libouchec (Zdroj: vlastní zpracování dat Povodí Ohře)

KS Janov					KS Libouchec				
časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend	časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	15	0,295	0,138	–	listopad	15	0,029	0,921	–
prosinec	15	0,467	0,018	↑	prosinec	15	0,162	0,428	–
leden	15	0,010	1,000	–	leden	15	0,029	0,921	–
únor	15	0,219	0,276	–	únor	15	0,124	0,553	–
březen	15	0,181	0,373	–	březen	15	0,067	0,767	–
duben	15	0,067	0,767	–	duben	15	-0,067	0,767	–
květen	15	-0,048	0,843	–	květen	15	-0,143	0,488	–
červen	15	0,333	0,092	–	červen	15	-0,143	0,488	–
červenec	15	0,257	0,198	–	červenec	15	-0,238	0,235	–
srpen	15	0,505	0,010	↑	srpen	15	0,219	0,276	–
září	15	0,200	0,322	–	září	15	-0,010	1,000	–
říjen	15	0,467	0,018	↑	říjen	15	0,219	0,276	–
rok	15	0,486	0,013	↑	rok	15	0,105	0,621	–
chladný půlrok	15	0,390	0,048	↑	chladný půlrok	15	0,200	0,322	–
teplý půlrok	15	0,486	0,013	↑	teplý půlrok	15	-0,143	0,488	–
jaro	15	0,143	0,488	–	jaro	15	-0,162	0,428	–
léto	15	0,524	0,008	↑	léto	15	0,048	0,843	–
podzim	15	0,467	0,018	↑	podzim	15	0,048	0,843	–
zima	15	0,333	0,092	–	zima	15	0,200	0,322	–

8 Diskuse výsledků

Diplomová práce se zabývá analýzou hydrologického sucha a trendů klimatických a hydrologických charakteristik v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka v Krušných horách na základě dostupných datových řad. Pozornost byla věnována i stanovení minimálních zůstatkových průtoků a problematice jejich dosažení při aktuálních suchých epizodách. Bezesporně značným limitem, se kterým se potýkáme během zpracování celé práce, je délka a kvalita dostupných hydrologických a meteorologických datových řad, což znesnadňuje nejen práci s těmito daty, ale také následné hodnocení, interpretaci výsledků analýz a jejich porovnání s obdobnými studiemi. Pracovalo se vždy s celými datovými řadami průtoků, srážek a teploty vzduchu ze dvou limnigrafických a jedné meteorologické stanice v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce, které byly pro úplnost hodnocení poměrů v povodích doplněny i o datové řady srážek a teploty vzduchu ze tří meteorologických stanic z nejbližších okolních povodí. Výpadky v meteorologických a hydrologických datech byly doplněny v měsíčním kroku za pomoci lineární regrese. Ojedinelé výpadky v řádu jednotlivých dnů byly zanedbány. Stejný postup zvolili ve své práci i Jedličková (2019) a Ledvinka (2008). Dle metadat za čtyřměsíčním přerušení monitoringu na stanici Lahošť na přelomu hydrologických let 2013 a 2014 stojí rekonstrukce měřícího zařízení a revitalizace přilehlé části toku. Tento fakt je třeba zohlednit zejména při hodnocení suchých dnů, který mohl být v hydrologickém roce 2014 na profilu Lahošť vzhledem k nastupujícímu suchu podhodnocen.

8.1 Vyhodnocení hydrologického sucha

Vyhodnocení hydrologického sucha bylo omezeno krátkou dostupností dat na hydrologické roky 2006-2020, které zachycují pouze poslední epizodu sucha. Není zde možnost porovnání sucha posledních let s předešlými epizodami sucha 20. století a nabízí se proto pouze úzký pohled na danou problematiku v těchto povodích. Na základě grafického vyjádření průměrných denních průtoků došlo na obou zkoumaných profilech od roku 2014 k poklesu rozkolísanosti průtoků, což koresponduje mimo lokální česká povodí i s nástupem suchého období ve středoevropském měřítku. Na výskyt sucha s nástupem podzimních měsíců v roce 2014 v regionu Severního Bavorska a Východního Saska upozornili ve své studii Zink a kol. (2016).

Absolutně nejnížší průtoky byly dle metody Gumbel 63 na profilu Lahošť a Duchcov naměřeny v letech 2018-2020. Změnu sezonality nízkých průtoků a sucha mimo jiné v českých a saských povodích Krušných hor analyzoval Vlach a kol. (2020). Nejbližší se našemu zájmovému území nachází povodí Rothenthal a Ammeldorf. Dle autorského kolektivu je pozorován zvýšený podíl letních nízkých průtoků během analyzovaného období 1968-2019, který je doprovázen

posunem těchto průtoků do dřívějšího období roku. Události sucha v těchto povodích navíc mají tendenci se soustředit do teplejší části roku, což koresponduje s našimi poznatky. Nicméně je zapotřebí brát tato porovnání s jistým nadhledem, neboť se jedná o antropogenně neovlivněná povodí, což ostatně dle autorů studie hrálo roli i při samotném výběru studovaných oblastí. Povodí Loučenského potoka a Bouřlivce je značně poznamenáno povrchovou těžbou hnědého uhlí, která je pro tento region typická. Říční síť zde doznala značných změn, což je blíže popsáno v kapitole 4.5.

Jako málo vodné byly u obou profilů shodně označeny roky 2014, 2018 a 2019. Rok 2020 byl na obou profilech označen jako extrémně málo vodný. Tento rok byl na základě prahového průtoků Q_{355d} v počtu suchých dní nejextrémnější v rámci celého sledovaného období. Kumulace suchých dní byla nejvíce sledována v letních a podzimních měsících. Tento fakt je v rozporu se srážkovými úhrny, neboť nejvíce srážek bylo na všech sledovaných meteorologických stanicích naměřeno právě v letních měsících (v průměru 32 % ročních srážek) a nejméně pak v jarních měsících (v průměru 21 % ročních srážek), což však koresponduje s celorepublikovým dlouhodobým průměrem. Rok 2020 byl v celorepublikovém průměru oproti srážkově podnormálním roce 2018 a normálním roce 2019 srážkově nadnormální (Crhová a kol. 2021). Mírné zvýšení ročních srážkových úhrnů od roku 2018 pozorujeme i u námi sledovaných stanic. Vysvětlení nárůstu suchých dní lze hledat ve vysokých teplotách vzduchu, které podporují evapotranspiraci v krajině. V souvislosti s vysokou mírou antropogenního ovlivnění toků (úprava říční sítě, odběry z toků) a geologickým prostředím oblasti, dochází k výrazně nízkým průtokům v teplé části roku, které v některých dnech roku 2018 vedly až k jeho úplnému vyschnutí. Na pokles průtoků v Evropě v letním půlroce, a naopak nárůstu průtoků v zimním období upozorňuje například práce Birsana a kol. (2014), analyzující sezónní trendy v průtoků vybraných rumunských řek, nebo práce Piniewski a kol. (2018) detekující trendy průtoků u řek v Polsku.

K hodnocení hydrologického sucha byla využita metoda prahové hodnoty a výpočet nedostatkových objemů. Z hlediska nedostatkových objemů byl na profilu Lahošť nejkritičtější rok 2018, kdy nedostatkový objem činil 778 579 m³. Vlivem pokračujícího srážkového deficitu z předchozích let a vysokých teplot byl na profilu Duchcov zaznamenán nejvyšší nedostatkový objem v roce 2020, kdy chybělo 66 % vody k naplnění prahové hodnoty Q_{355d} . Naše výsledky potvrzuje i analýza závěrečné práce Lukášové (2019) z povodí Úhlavky, kde v rámci analyzovaného období 1952-2019 byly z hlediska nedostatkových objemů označeny jako nejsušší roky 2015, 2017, 2018 a 2019, což celkově zahrnovalo 338 dní. Jako významný rok v souvislosti s hydrologickým suchem v povodí Loděnice Burian (2019) rovněž uvádí rok 2018. Autor k analýze využil stejně jako Lukášová (2018) metodu prahové hodnoty a metodu nedostatkových objemů bez využití některého dalšího indexu sucha. Z celkových 365 dní bylo v povodí Loděnice v roce 2018 naměřeno 144 dní

suchých, což je o 22 dní méně, než na profilu Lahošť a o 39 dní méně než na profilu Duchcov. Stejně jako v této práci autor pracuje s limitním průtokem Q_{355d} . Ačkoliv Burian (2019) analyzoval hydrologická sucha na základě datové řady delšího časového trvání od roku 1977 do roku 2018, za celé toto období zaznamenal pouze 403 hydrologicky suchých dní, které se v oblasti vyskytly především v posledních letech. V našem případě bylo na profilu Lahošť zaznamenáno mezi lety 2006-2020 1190 suchých dní a na profilu Duchcov za stejné časové období dokonce 1536 suchých dní, což dokládá extremitu zdejších povodí. Rok 2018 byl v povodí Loděnice rovněž extrémní i z pohledu nedostatkových objemů, kdy suchá perioda trvala 125 dní a nedostatkový objem činil 384 601 m³.

8.2 Vyhodnocení analýz trendů a homogenity v datových řadách

Dle našich výsledků k největšímu poklesu průtoku v porovnání s dlouhodobým průměrem z let 2006-2020 došlo během analyzovaných let 2015, 2018 a 2020 v letních a podzimních měsících. Postupný klesající lineární trend průtoků byl rovněž zaznamenán v datové řadě přítoku do vodního díla Všechlapy. Klesající trend přítoku do nádrže během teplého půlroku byl následně potvrzen statistickým testováním. Ke stejnému závěru poklesu průtoků zejména v jarním a letním období dospěl například Vlach (2019), který analyzoval hydrologické sucho v pramenných oblastech Krušných hor od roku 1967 do roku 2018. Konkrétně v povodí Načetínského potoka, horní Rolavy a horní Svatavy.

Při analýzách časových řad doporučují Hančlová a Tvrď (2003) využít nejméně třicetileté časové období, což v našem případě nebylo dodrženo ani u jedné sledované měřicí stanice. Nejdelší využitá časová řada v našem případě představuje 26 let monitoringu, nejkratší zahrnuje 15 let měření. Z tohoto důvodu je nutné porovnat výsledky trendů hydrologických a meteorologických řad s dalšími stanicemi s delším monitoringem, obdobným antropogenním ovlivněním, srovnatelnou velikostí povodí i srovnatelnou velikostí průměrného průtoku. Výběr dle těchto kritérií nejlépe splňuje povodí Klíšského potoka, nacházející se v blízkosti antropogenně ovlivněné oblasti města Ústí nad Labem. Nicméně i tento profil má dostupnou řadu monitoringu pouze od hydrologického roku 1991 do roku 2020. Především nedostatečná délka monitoringu a absence srovnatelného antropogenního ovlivnění jednotlivých povodí jsou zásadními kritérii na základě kterých došlo k selekci a vyřazení ostatních profilů z nabízené volně dostupné databáze ČHMÚ. Pro porovnání výsledků trendů meteorologických řad byla vybrána nejbližší měřicí stanice Teplice (U1TEPL01) s délkou monitoringu teploty vzduchu a srážkových úhrnů od roku 1962 do roku 2020. Výsledky statistického testování trendu na profilu Klíšského potoka nepotvrdily výsledky signifikantního trendu u stanice Všechlapy, kde byl zaznamenán klesající trend přítoku v teplém

půlroce a v řadě jarních, letních a podzimních měsíců. Je nutné podotknout, že ačkoliv byla věnována snaha výběru vhodného porovnávacího profilu, míra antropogenního ovlivnění a fyzicko-geografické poměry oblasti představují u každého z povodí individuální a specifický rozsah projevů celkového ovlivnění průtoku, díky kterým je porovnání značně ztížené a problematické. Pro doplnění byly podrobeny statistickému hodnocení pomocí Mann-Kendallova testu i datové řady průtoku ze stanice Lahošť a Duchcov z let 2006-2020. Na obou stanicích byl zaznamenán pouze klesající trend. Shodně na obou stanicích byl označen signifikantní trend v řadě průtoků v měsících srpen a září, dále pak v řadě jarních průtoků, v teplém půlroce a v řadě ročních průtoků. Výsledky analýzy trendu průtoku ze stanice Lahošť a Duchcov jsou k vidění v příloze 1.

Na základě grafického znázornění průměrných denních průtoků (obrázky 33 a 34) let 2006 a 2020 je vidět mírný posun vzrůstajícího průtoku během extrémně suchého roku do dřívějšího období. Ve vodném roce 2010 byly zaznamenány vysoké průtoky z jarního tání v březnu a začátkem dubna. O 10 let později, tedy v suchém roce 2020, byl největší průtok zaznamenán již v polovině března. Do budoucna předpokládá posun hlavního období zvýšených jarních průtoků z tání sněhu do dřívější části roku i Cuřín (2018), který se ve své studii zaměřil na pramenné oblasti Vydry. Ke stejnému zjištění dospěli také zahraniční studie Larsona a kol. (2011) a Ettera a kol. (2017). Pravdou je, že toto tvrzení by si zasluhovalo poněkud detailnější analýzu odtokových poměrů na datech s delším monitorovaným obdobím, neboť srážkoodtokový proces je ve skutečnosti složitý a komplexní jev, který je třeba sledovat v delším časovém měřítku. Zde se nabízí prostor pro případné další hodnocení srážkoodtokových procesů v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce s využitím dat o sněhové pokrývce.

Dřívější tání sněhové pokrývky v horských povodích České republiky dává Langhammer a Bernsteinová (2020) do souvislosti se zvýšenou teplotou vzduchu. Na nejnižše položené meteorologické stanici Všechlapy byl stoupající signifikantní trend teploty vzduchu určen v říjnu a v listopadu, tedy v chladné polovině roku. Trend byl následně potvrzen i na úrovni řady podzimních a zimních měsíců. Na výše položených stanicích Fláje a Janov byl signifikantní trend zaznamenán v chladném i teplém půlroce. Mann-Kendallův test určil shodně i na těchto stanicích vzrůstající trend teploty vzduchu v říjnu, v listopadu a v řadě letních a podzimních měsíců. Zejména v letních měsících může být vyšší teplota vzduchu důvodem k zesilování evapotranspiračních procesů a tím se výrazně podílet na snižování odtoku (Kliment, Matoušková a kol. 2011). Statisticky významný trend teploty vzduchu na stanici Libouchec nebyl prokázán. V jarním období nebyl rovněž trend teploty vzduchu prokázán na žádné zkoumané stanici kromě stanice Všechlapy, kde byl zaznamenán statisticky významný trend v dubnu. Je třeba mít na paměti odlišnou délku monitoringu u stanice Fláje a Janov. U stanice Fláje posuzujeme přítomnost trendu v devatenáctileté datové řadě. U stanice Janov byla využita pouze patnáctiletá datová řada. Z tohoto důvodu nelze potvrdit,

či vyvrátit regionální změnu v naměřených řadách teploty vzduchu, která by vyžadovala sjednocené datové řady nejlépe delšího časového trvání. Trend vzrůstající teploty vzduchu ve všech testovaných řadách kromě měsíců únor, květen a říjen byl následně potvrzen i v datových řadách stanice Teplice za sledované období 1962-2020. Výsledky analýzy hodnot teploty vzduchu ze stanice Teplice jsou k vidění v tabulce 38.

Signifikantní trend srážkových úhrnů byl zaznamenán pouze u stanice Všechny. Klesající charakter srážek Mann-Kendallův test našel v měsících únor a červen. Následně i v řadě teplého půlroku v jarní a roční řadě srážek. Testování trendu srážkových úhrnů na takto krátkých časových řadách je dosti problematické, neboť vývoj srážkových úhrnů, resp. prokazování poklesového či vzrůstajícího trendu vyžaduje rozsáhlejší monitorovací období. Klesající trend byl u stanice Všechny následně zkoumán i pomocí lineární spojnice trendu, která klesající trend u této stanice potvrdila.

*Tabulka 38: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu na stanici Teplice (1962-2020)
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)*

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	56	0,223	0,013	↑
prosinec	56	0,211	0,019	↑
leden	56	0,202	0,025	↑
únor	56	0,156	0,082	–
březen	56	0,251	0,005	↑
duben	56	0,367	0,000	↑
květen	56	0,223	0,123	–
červen	56	0,281	0,002	↑
červenec	56	0,293	0,001	↑
srpen	56	0,405	0,000	↑
září	56	0,203	0,024	↑
říjen	56	0,171	0,056	–
rok	56	0,504	0,000	↑
chladný půlrok	56	0,343	0,000	↑
teplý půlrok	56	0,518	0,000	↑
jaro	56	0,430	0,000	↑
léto	56	0,449	0,000	↑
podzim	56	0,326	0,000	↑
zima	56	0,258	0,004	↑

Ačkoliv v případě teploty vzduchu většina studií potvrzuje její postupný nárůst, u srážkových charakteristik zatím nebyly na území České republiky potvrzeny žádné významné trendy (Langhammer, Bernsteinová 2020). Pro porovnání výsledků analýzy srážkových úhrnů se stanicí s delším monitoringem byla vybrána rovněž stanice Teplice. Překvapivým zjištěním bylo určení

stoupajícího signifikantního trendu v datové řadě srážek letních měsíců, podzimních měsíců a rovněž v červenci a v říjnu (tabulka 39), což se neshoduje s výsledky z meteorologické stanice Všechny, kde byl zaznamenán pouze trend klesající či stagnující (tabulka 33). Z důvodu nejasného hodnocení srážkových úhrnů v zájmové oblasti byla analýza trendu provedena rovněž na stanici Hrob (U1HROB01) s monitoringem od roku 1962-2020. Stanice se nachází v obci Hrob v povodí Bouřlivce. Ani dodatečné zkoumání trendu srážkových úhrnů na stanici Hrob však nepřineslo jasné závěry, neboť byl stoupající trend prokázán pouze v dubnové datové řadě s mírou signifikance 0,045. V ostatních testovaných datových řadách (shodné se všemi ostatními testovanými stanicemi) byl trend stagnující. Studie Marouškové (2016), hodnotící mimo jiné dlouhodobý trend v datových řadách srážek v letech 1970-2014 v povodí Rakovnického potoka, vykazuje rovněž stagnaci, případně mírné zvýšení srážkových úhrnů zejména v letním období, což částečně souhlasí i s výsledky ze stanice Všechny (stagnace trendu), ačkoliv se obě testovaná období překrývají pouze krátkým časovým úsekem. Podobné výsledky vykazuje i stanice Teplice s testovací datovou řadou od roku 1962 do roku 2020. Maroušková (2016) však dává výsledky své práce do rozporu s výsledky Kašpárka (2012), který naopak v povodí Rakovnického potoka zaznamenal trend úhrnu srážek stagnující, až mírně klesající.

Tabulka 39: Detekce trendu v datové řadě srážek na stanici Teplice (1962-2020)
(Zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	56	0,005	0,958	–
prosinec	56	0,049	0,592	–
leden	56	0,160	0,075	–
únor	56	-0,023	0,799	–
březen	56	0,032	0,724	–
duben	56	-0,089	0,323	–
květen	56	0,074	0,410	–
červen	56	0,000	1,000	–
červenec	56	0,024	0,007	↑
srpen	56	0,017	0,234	–
září	56	0,080	0,374	–
říjen	56	0,210	0,019	↑
rok	56	0,174	0,053	–
chladný půlrok	56	0,175	0,051	–
teplý půlrok	56	0,122	0,174	–
jaro	56	0,050	0,578	–
léto	56	0,187	0,037	↑
podzim	56	0,192	0,032	↑
zima	56	0,098	0,278	–

Samotnému statistickému testování trendu v datových řadách předcházelo zkoumání absolutní homogenity. Stejný postup ve své práci zvolil například i Vlach (2019) nebo Jedličková (2019). Nejvíce nehomogenit bylo dle očekávání nalezeno u datových řad s nejdelším monitoringem, resp. u stanice Všechny a Fláje. V případě datové řady přítoku do vodního díla Všechny bylo nalezeno poměrně značné množství nehomogenit v jarním a letním období. Homogenita datových řad srážek se stejnou délkou monitoringu nebyla prokázána u stanic Janov a Libouchec. Datová řada srážek stanice Fláje byla rovněž označena Pettittovým testem za homogenní. Buishandův test byl s těmito výsledky v rozporu pouze v červenci, který byl tímto testem označen za nehomogenní s bodem zlomu v roce 2012. Obecně vysokou homogenitu dat srážek zaznamenali i Kliment, Matoušková a kol. (2011) v povodí Rolavy, kteří se zaměřili na hydrologické období 1962-2008. Autoři rovněž využili pro analýzy kromě statistického testování i grafickou metodu jednoduchých součtových čar. Relativní homogenita nebyla v našem případě testována, což by s velkou pravděpodobností vneslo do testování a následné interpretace výsledků chaos, neboť ne u všech stanic by bylo možné relativní homogenitu testovat z důvodu absence absolutně homogenních, stejně dlouhých referenčních řad. V takovém případě je nutno brát výsledky absolutní homogenity pouze jako informativní poznatek o kvalitě zpracovávaných dat.

V datových řadách teploty vzduchu bylo nalezeno množství nehomogenit s různými body zlomu. V datových řadách stanic Fláje a Všechny bylo nejvíce nehomogenit v letním a zimním období. Nehomogenity u těchto stanic se shodovaly v měsících červen, srpen a prosinec. Datové řady teploty vzduchu stanice Janov a Libouchec byly označeny za homogenní. Výjimku tvoří měsíc květen u stanice Libouchec, který byl SNHT testem označen za nehomogenní. To však Pettittovým testem nebylo potvrzeno.

8.3 Vyhodnocení stanovení minimálních zůstatkových průtoků

Pro zajištění ekologického stavu vodohospodářsky využívaného toku je zapotřebí stanovení minimálních zůstatkových průtoků (MZP) a jejich následné striktní dodržování. Nástrojem k jejich dosažení je aktuálně platný metodický pokyn pro stanovení minimálních zůstatkových průtoků z roku 1998. Hodnoty MZP stanovené dle metodického pokynu z roku 1998 jsou pouze směrné, což dovoluje vodoprávním úřadům s takto stanovenými hodnotami volně nakládat a pozbyť tak jejich jednotnost. Do výpočtu nově navrhované, dosud procesně neschválené metodiky nařízení vlády pro stanovení MZP byl implementován požadavek zohlednění regionalizace, sezonality, dopadů na biologické složky toku, cíle stanovené v plánech povodí a v neposlední řadě i zohlednění místních podmínek povodí (ODOK 2018b). V připomínkovém řízení novely stanovení MZP byl návrh kritizován z pohledu navyšování hodnot MZP, což může dle připomínkových subjektů

(např. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Ministerstvo životního prostředí, Svaz měst a obcí České republiky, Hospodářská komora České republiky, ale i zastupující orgány krajů České republiky aj.) vést k řadě omezení z pohledu dodávky pitné vody, případně omezení odběru vod a následných dopadů na výrobu dotčeného subjektu (ODOK 2018c).

Jak již bylo zmíněno, navrhované hodnoty MZP dle plánované novely metodiky nařízení vlády neodpovídají stavu průtoků, kterým vlivem sucha v posledních letech toky v zájmových povodích Bouřlivce a Loučenského potoka čelí. Jinými slovy, navrhovaných hodnot MZP, pracujících s prahovými hodnotami za normálové období 1981-2010, je možné za panujícího suchého letního období v našich dvou studovaných povodí jen stěží dosáhnout. Což ostatně kritizovali i výše zmíněné subjekty v připomínkovém řízení návrhu stanovení MZP v rámci celé České republiky. Navrhovaná hodnota MZP podle nařízení vlády činí u Loučenského potoka pro hlavní i jarní sezonu $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ a u Bouřlivce $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$, což v obou případech odpovídá průtoku Q_{330d} za normálové období 1981-2010. Hodnoty průtoku za období 1981-2010 dosahují přibližně 33 % Q_a u Bouřlivce (LG Lahošť) a 32 % Q_a . K dosažení dobrého ekologického stavu bylo navrženo rozmezí průtoku 20-30 % Q_a (Balvín, Vizina 2018). Námi určené hodnoty MZP tak převyšují horní hranici tohoto rozmezí. O nedosažení dobrého ekologického stavu z důvodu absence dostatečného množství vody v toku při takto nastavených hodnotách MZP tak nemůže být pochyb.

Nicméně stav průtoků, kterými toky od začátku suché epizody čelí, je velmi vzdálen od možnosti využití této metodiky v praxi. Takto stanovený MZP je dosahováno pouze u zimních a jarních měsíců, kdy průměrný měsíční průtok (prosinec-květen) z let 2006-2020 dosahuje hodnoty $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$. Naopak průtoky nižší, než stanovený MZP jsou v rámci průměrných měsíčních průtoků z let 2006-2020 pozorovány především v srpnu, září a v říjnu, kdy v Bouřlivci (profil Lahošť) pozorujeme průtok v průměru pouze $0,087 \text{ m}^3/\text{s}$. S prohlubujícím se suchem od roku 2014 pozorujeme v letních a podzimních měsících průtoky hluboko pod limitem MZP. Pro porovnání byl MZP spočítán rovněž na základě průtoků pro referenční období 2014-2020. Tyto hodnoty se zdají být u Bouřlivce i Loučenského potoka lépe dosažitelné i během nízkých průtokových stavů. U Bouřlivce odpovídá navrhovaný MZP 15 % Q_a (2014-2020) v sezoně hlavní a 16 % Q_a (2014-2020) v sezoně jarní. Navrhovaný MZP za referenční období 2014-2020 je u Loučenského potoka pro hlavní sezonu 18 % Q_a (2014-2020) a pro jarní sezonu 20 % Q_a (2014-2020). Poměrem mezi hodnotou MZP v hlavní i jarní sezoně se zabývali i Balvín a Vizina (2018), kteří vyhodnocovali metodiku prozatím neschváleného (v době psaní diplomové práce) nařízení vlády pro stanovení MZP na 276 vodoměrných stanicích po celé České republice. V územní kategorii 4, do které spadá i povodí Loučenského potoka a Bouřlivce, autoři vyhodnotili poměru většiny sledovaných profilů mezi hodnotou MZP a hodnotou Q_a pro hlavní sezonu 18,6 % a pro jarní sezonu 21 %. Pracovali přitom s hodnotami za období 1981-2010. Těmto hodnotám se spíše blíží MZP navrhované pro

referenční období 2014-2020. Lze tedy konstatovat, že námi vypočítané hodnoty MZP pro referenční období na základě plánované novely nařízení vlády jsou v porovnání s ostatními povodími kategorie 4 nadprůměrné.

U malých toků je proto nasnadě vycházet z dat aktuálního pozorování průtoků a následného operativního zavedení limitních průtoků, neboť průtoky z normálového období 1981-2010 dostatečně nereprezentují současnou situaci hydrologického sucha. Možným řešením je rovněž stanovení MZP v rámci každého měsíce zvlášť dle pro dané období aktuálních meteorologických a hydrologických podmínek.

V důsledku déletrvajícího sucha v roce 2020 Vodoprávní úřad zakázal od července do konce října odběr povrchové vody u Loučenského potoka a Bouřlivce i jejich přítoků (POH 2020). Ovšem při terénním průzkumu bylo zjištěno, že tento zákaz nebyl dodržován a odběry z vodních toků velkým dílem přispěly k poměrně extrémnímu hydrologickému suchu v letním období roku 2020.

Otázkou však zůstává, jak se sucho a s ním spojené velikosti průtoků budou vyvíjet v nadcházejícím období. Zimní a jarní měsíce roku 2021 se vyznačovaly spíše normálními až podnormálními teplotami vzduchu, což bylo způsobeno prouděním velmi chladného vzduchu ze severu. Z hlediska srážek by se dalo toto období označit za normální. V únoru bylo na území Ústeckého kraje dokonce zaznamenáno nejvíce srážek ze všech ostatních krajů, a to 142,1 % normálu (ČHMÚ 2021a). Z důvodu četných srážek v půlce května byly pozorovány nadprůměrné průtoky zejména v povodí Vltavy, částečně i v povodí horního a středního Labe, také v povodí Dyje a Odry, což na některých profilech vedlo k překročení SPA (HAMR 2021). Předešlé studené dvoutměsíční období bylo ukončeno až teplotně silně nadnormálním červnem, avšak srážkově byl červen považován za normální a z hlediska odtokových poměrů za podprůměrný. I přesto že hydrologické sucho dle Zahradníčka (2021) v první polovině roku 2021 nebylo pozorováno, je třeba být před tímto fenoménem na pozoru. Podle posledních scénářů klimatických modelů se do budoucna očekává růst trendu teploty vzduchu a s ním i častější výskyt hydrologického sucha.

9 Závěr

Nejméně v posledních pěti letech přetrvávalo na území České republiky významné sucho, které vzniklo jako důsledek kombinace faktorů podnormálních srážek za současného působení nadnormálních teplot vzduchu. V antropogenně ovlivněných podhorských povodích Loučenského potoka a Bouřlivce, s charakteristickou vysokou mírou upravenosti říční sítě, lze i do budoucna očekávat zvýšenou poptávku po vodních zdrojích s možným dopadem v podobě deficitu vody v korytech toků. Předkládaná práce si stanovila za cíl vyhodnotit hydrologické sucho a trendy meteorologických a hydrologických charakteristik v zájmových povodích na základě poskytnutých datových zdrojů od podniku Povodí Ohře. Dílčím cílem bylo stanovení MZP pro profil Lahošť a Duchcov pomocí plánované novely metodického pokynu nařízení vlády pro stanovení MZP ve vodních tocích.

Závěrečná práce se v první řadě zaměřuje na detailní popis fyzickogeografických poměrů zájmových povodí s důrazem na hydrologické a hydrografické charakteristiky oblasti. Komentovány jsou rovněž použité datové zdroje, metody hodnocení hydrologického sucha, trendů a homogenity datových řad. Rozsáhlou část tvoří literární rešerše dostupných zahraničních i českých zdrojů pojednávajících o suchu, o nesnadném vymezení tohoto běžně užívaného termínu, typologii sucha a jeho hlavních příčinách a dopadech na složky krajinné sféry. Pozornost byla rovněž věnována metodám hodnocení hydrologického sucha a shrnutí poznatků o vývoji meteorologických a hydrologických poměrů na území České republiky od roku 2014 do roku 2020 na základě dostupných dokumentů ČHMÚ. Byla také představena metodika plánované novely nařízení vlády pro stanovení MZP a odlišnosti s doposud platnou metodikou pro stanovení MZP z roku 1998. Druhou část závěrečné práce již tvoří analýza dostupných meteorologických a hydrologických data.

Za významné z pohledu hydrologického sucha považujeme především roky 2018, 2019 a 2020, kdy bylo na obou sledovaných profilech zaznamenáno nejvíce dní s poklesem průtoku pod limitní hodnotou Q_{355d} a také nejvyšší nedostatkové objemy od roku 2006. S hydrologickým suchem souvisí i menší rozkolísanost průtoku, která byla sledována na obou profilech s nástupem suché epizody v roce 2014. Naopak vysoká rozkolísanost průtoku byla zaznamenána například v roce 2010, kdy bylo sledováno i nejméně suchých dní.

Výsledky práce rovněž naznačují na klesající trend přítoku do vodního díla Všechlapy, a to po celý rok kromě zimních měsíců. Ten však nebyl na porovnávacím profilu Klíšského potoka potvrzen. Stoupající trend teploty vzduchu byl v zájmové oblasti zjištěn v jarních, letních, podzimních i zimních měsících, což bylo potvrzeno i dostatečně dlouhou datovou řadou ze stanice Teplice. O něco více nejistá se zdá být situace vývoje trendu srážkových úhrnů. U stanice Všechlapy

s 26 lety monitoringu byl klesající signifikantní trend zaznamenán v teplé polovině roku a v řadě jarních měsíců. U stanice Teplice s monitoringem od roku 1962 (56 let monitoringu) byl v případě srážkových úhrnů zaznamenán pouze trend stoupající, či stagnující. Stanice Hrob, rovněž s monitoringem od roku 1962, zaznamenala stoupající trend pouze v dubnové měsíční řadě srážek. V ostatních testovaných řadách u stanice Hrob Mann-Kendallův test trend nezaznamenal. Nelze proto s jistotou definovat a potvrdit vývoj trendu srážkových úhrnů v našich sledovaných povodích, což do jisté míry souhlasí i s výsledky tuzemských studií.

Na základě plánované novely metodiky stanovení MZP byl pro profil Lahošť na Bouřlivci určen MZP $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ a pro profil Duchcov na Loučenském potoce MZP $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$. S nástupem suché epizody od roku 2014 pozorujeme v letních a podzimních měsících průtoky pod těmito limitními hodnotami, neboť průtoky v suchých obdobích jsou tak nízké, že nedosahují ani hodnot stanoveného MZP z referenčního období 1981-2010. Z tohoto důvodu byl výpočet MZP proveden také v rámci časových řad od roku 2014 do roku 2020. Výsledné hodnoty takto stanoveného MZP se zdají být v praxi snadněji dosažitelné a udržitelné i během panujícího suchého období.

10 Seznam použité literatury a zdroje

10.1 Seznam literatury

ALEXANDERSSON, H. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661-675. In: TUOMENVIRTA, H. (2002): Homogeneity Testing and Adjustment of Climatic Time Series in Finland. Finnish Meteorological Institute. *Geophysica*, 38(1-2), s. 15-41.

ALEXANDERSSON, H. (1995): Homogeneity testing, multiple breaks and trends. Proceedings of the Sixth International Meeting on Statistical Climatology, Galway, Ireland, 439-441. In: TUOMENVIRTA, H. (2002): Homogeneity Testing and Adjustment of Climatic Time Series in Finland. Finnish Meteorological Institute. *Geophysica*, 38(1-2), s. 15-41.

ALEXANDERSSON, H. (2001): Homogenisation of Climate Data, Difficult but Necessary. In: INDIA, M., B., BONILLO, D., L. ed. (2001): Detecting and Modelling Regional Climate Change. 1. vyd., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 649 s.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, L. S., SMITH, M. (1998): Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO Irrigation and drainage paper. Food and Agriculture Organization, 56 s.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie PRAHA a. s., Praha. 79 s.

BALVÍN, P., MRKVIČKOVÁ, M., SKYBOVÁ, J. (2013): Návrh postupu ke stanovení minimálního zůstatkového průtoku. Praha: VÚV TGM v.v.i. [online prezentace].

BALVÍN, P., VIZINA, A. (2018): Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR. Praha: VTEI, 60(2), s. 8-13.

BAŽANT, V. (2010): Růstové vlastnosti dřevin na výsypkových stanovištích Mostecké pánve (Severočeské hnědouhelné pánve). Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Slávik, CSc. 118 s.

BIRSAN, M. V., ZAHARIA, L., CHENDES, V., BRANESCU, E. (2014): Seasonal trends in Romanian streamflow. *Hydrological Process*, 22, s. 4496-4505.

BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): Z nížin do hor – Geomorfologické jednotky České republiky. 1. vyd. Praha: Academia, 344 s.

BÍŇOVEC, V. (2007): Využití modelování průchodu povodňových vln v operativním řízení nádrže Orlick. Praha: ČVUT v Praze. Fakulta stavební. Katedra hydrauliky a hydrologie. Vedoucí práce Ing. Petr Sklenář, PhD. 74 s.

BLAŽKOVÁ, M., WOJTASZEKOVÁ, K. (2007): Přírodní zdroje tepla v severních Čechách. Enviromentální fakulta University J.E. Purkyně, Ústí nad Labem, 8 s.

BLINKA, P. (2005): Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876-2002. *Meteorologické zprávy*, 58(1), s. 10-18.

BLINKA, P. (2009): Klimatologické hodnocení sucha na území Čech a Moravy v letech 1875-2002. Praha. Disertační práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Ivan Sládek, CSc. 138 s.

BONACCORSO, B. CASTIGLIONE, L., ROSSI, G. (2007): Guidelines for Planning and Implementing Drought Mitigation Measures. In: ROSSI, G., VEGA, T., BONACCORSO, B.: Methods and Tools for Drought Analysis and Management. Department of Physics, University of Rome "La Sapienza", Rome, Springer, s. 325-347.

- BORRETI, A., ROSA, L. (2019): Reassessing the projections of the World Water Development Report. *Clean Water*, 15(2), 15 s.
- BOVEE, K. D., LAMB, B. L., BARTHOLOW, J. M., STALNAKER, C. B., TAYLOR, J., J., HENRIKSEN (1998): Stream habitat and analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey Information and Technology Report 1998-0004.
- BUISHAND, T., A. (1982): Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, 58(1-2), s. 11-27.
- BÜNTGEN, U., URBAN, O., KRUCIS, P. J., RYBNÍČEK, M., KOLÁŘ, T., KYNCL, T., AČ, A., KOŇASOVÁ, E., ČÁSLAVSKÝ, J., ESPER, J., WANGER, S., SAUER, M., TEGEL, W., DOBROVOLNÝ, P., CHERUBINI, P., REINIG, P., TRNKA, M. (2021): Recen European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nature Geoscience*. 14, 190-196.
- BURN, D., H., ELNUR, M. A. (2002): Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255, s. 107-122.
- BEAULIEU, C., SEIDOU, O., OUARDA, T., ZHANG, X. (2009): Intercomparison of homogenization techniques for precipitation data continued: Comparison of two recent Bayesian change point models. *Water Resources Research*, 45(8), s. 1-15.
- BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. (2015): Sucho v českých zemích – minulost, přítomnost, budoucnost. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i. 402 s.
- BROŽA, V. (2019): Nádrže a minimální průtoky ve vodních tocích. konference Vodní nádrže 2019, s. 15-18.
- BUČIL, P. (2002): Ani s vodou v lomu se dobývat nedá. In: LUXA, J. a kol. (2002): Doly Bílina – Historie posledního a největšího lomu na Bílinsku. Teplice: NIS, s. 134-138.
- BURDA, J. (ed.) (2016): Rebilance zásob podzemních vod. Stanovení zásob podzemních vod, Hydrogeologický rajon 6133 – Teplický ryolit. Závěrečná zpráva. ČGS. ÚÚV T.G.M., 138 s.
- CRHOVÁ, L., ČEKAL, R., ČERNÁ, L., GRÜSSEROVÁ, P., KIMOVÁ, M., ŠTĚPÁNKOVÁ, B., VRABEC, M. (2018): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2017. Praha: ČHMÚ, 37 s.
- CRHOVÁ, L. a kol. (2020): Stav a vývoj sucha v Česku – Hodnotící zpráva k jednání Národní koalice pro boj se suchem. Praha: ČHMÚ.
- CRHOVÁ, L., ČEKAL, R., KIMLOVÁ, M., KREJČOVÁ, K., LAMAČOVÁ, A., ŠÁDKOVÁ, E., ŠTĚPÁNKOVÁ, B., VLNAS, R. (2020): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2019. Praha: ČHMÚ, 32 s.
- CRHOVÁ, L., ČEKAL, R., KIMLOVÁ, M., KREJČOVÁ, K., LAMAČOVÁ, A., ŠÁDKOVÁ, E., ŠTĚPÁNKOVÁ, B., VLNAS, R. (2021): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2020. Praha: ČHMÚ, 34 s.
- CULEK, M., GRULICH, V., LAŠTŮVKA, Z., DIVÍŠEK, J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 448 s.
- ČÁP, P. (2018): Zabraň erozi, zmírni sucho aneb - O minimalizaci agrometeorologických extrémů. *Vesmír – přírodovědecký časopis*, 97(6), s. 19-20.
- ČEKAL, R., VRABEC, M., KULASOVÁ, B., ČERNÝ, M., ČERNÁ, L., PAVLÍKOVÁ, D., VLNAS, R. (2015): Hydrologická charakteristika roku 2014. In: Hydrologická ročenka České republiky 2014. Kapitola I a II. 1. vyd. Praha: ČHMÚ, s.19-37.
- ČEKAL, R., ŠERCL, P., VLNAS, R., ČERNÝ, M., BOHÁČ, M., ČERNÁ, L., KIMLOVÁ, M., KUBÁT, J., KUKLA, P., PAVLÍKOVÁ, D., PECHA, M., VRABEC, M. (2016): Hydrologická charakteristika roku 2015. In: Hydrologická ročenka České republiky 2015. Kapitola I a II. 1. vyd. Praha: ČHMÚ, s. 21-92.

- ČEKAL, R., ŠERCL, P., VLNAS, R., ČERNÝ, M., BOHÁČ, M., ČERNÁ, L., KUBÁT, J., KUKLA, P., PECHA, M. (2017): Hydrologická charakteristika roku 2016. In: Hydrologická ročenka České republiky 2016. Kapitola I a II. 1. vyd. Praha: ČHMÚ, s. 21-97.
- ČEKAL, R., ŠERCL, P., VLNAS, R., ČERNÝ, M., BOHÁČ, M., ČERNÁ, L., KUBÁT, J., KUKLA, P., PECHA, M. (2018): Hydrologická charakteristika roku 2016. In: Hydrologická ročenka České republiky 2017. Kapitola I a II. 1. vyd. Praha: ČHMÚ, s. 21-65.
- ČEKAL, R., ŠERCL, P., VLNAS, R., ČERNÝ, M., BOHÁČ, M., ČERNÁ, L., KUBÁT, J., KUKLA, P., PECHA, M. (2019): Hydrologická charakteristika roku 2018. In: Hydrologická ročenka České republiky 2018. Kapitola I a II. 1. vyd. Praha: ČHMÚ, s. 22-91.
- DAÑHELKA, J., BERCHA, Š., BOHÁČ, M., CRHOVÁ, L., ČEKAL, R., ELLEDER, L., FIALA, R., CHUCHMA, F., KOHUT, M., KOURKOVÁ, H., KUBÁT, J., KUKLA, P., KULHAVÁ, R., MOŽNÝ, M., REITSCHLÄGER, J. D., ŘIČICOVÁ, P., SANDEV, M., SKŘIVÁNKOVÁ, P., ŠERCL, P., ŠTĚPÁNEK, P., VALERIÁNOVÁ, A., VLNAS, R., VRABEC, M., VRABLÍK, M., ZAHRADNÍČEK, P., ZRZAVECKÝ, M. (2015): Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015. Praha: ČHMÚ.
- DAÑHELKA, J., KUBÁT, J. (eds.) (2019): Sucho v roce 2018. Předběžná zpráva. Praha: ČHMÚ, 85 s.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. (2006): Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. 2. vyd. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 582 s.
- DRLÍKOVÁ, B. (2015): Kvalita zemědělské půdy v ČR a v Evropě – vývoj, současnost a budoucnost. Bakalářská práce. Brno: VÚV. Vedoucí práce: Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D., 46 s.
- DOLISTOVÁ, V. (2007): Analýza faktorů ovlivňujících transmisivitu krystalinika Šumavy a Krušných hor. Diplomová práce. Karlova Univerzita. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité fyziky. Vedoucí práce doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.
- DUFFKOVÁ, R. (2003): Porovnání hodnot aktuální evapotranspirace travního porostu získaných třemi různými metodami. Praha: Acta Hydrologica Slovaca, 4(2), 323 s.
- DVOŘÁK, M. (2008): Hodnocení kvality habitatu antropogenně ovlivněných vodních toků – aplikace na modelovém povodí Bíliny. Praha. Diplomová práce. Karlova Univerzita. Fakulta přírodovědecká. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková, Ph.D. 141 s.
- EKEU-WEI, T. I., BLACKBURN, A. G., PEDRUCCO, P. (2018): Infilling Missing Data in Hydrology: Solutions Using Satellite Radar Altimetry and Multiple Imputation for Data-Sparse Regions. *Water*, 10(10), s. 1-3.
- ELLEDER, L., VLNAS, R., DAÑHLEDKA, J. (2018): Paralely sucha 2014-2017 s historickým suchým obdobím 1861-1875. Suché období 2014-2017 – vyhodnocení, dopady a opatření. Praha: ČHMÚ, s. 6-11.
- ESTRELA, T., MENÉNDEZ, M., DIMAS, M., MARCUELLO, C., REES, G., COLE, G., WEBER, K., GRATH, J., LEONARD, J., OVESEN, N. B., FEHÉR, J., CONSULT, V. (2001): Extreme hydrological events: floods and droughts. *Environmental issue report*. No. 21: Sustainable water use in Europe, Part 3. European Environment Agency, 84 s.
- FEDOR, F., ŘÍHA, J., STŘEDA, P. (2016): Poznatky ze zkušebního provozu ÚV v Meziboří. Sborník konference Pitná voda 2016. České Budějovice: W&ET Team.
- FIALA, T. (2011): Vývoj nedostatkových objemů a průměrných malých průtoků v České republice. Disertační práce. PŘF UK, Praha. Vedoucí práce Ing. Josef Hladný, CSc.
- FOUSOVÁ E., REIDINGER, J. a kol. (2016): *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2015*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 144 s.
- FOUSOVÁ E., REIDINGER, J. a kol. (2017): *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2016*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 127 s.

FOUSOVÁ, E., JIROUDOVÁ, L., KOUBOVÁ, J., a kol. (2020): Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2019. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 135 s.

GRZYMALA-BUSSE, J. W., HU, M. (2001): A Comparison of Several Approaches to Missing Attribute Values in Data Mining. In: Ziarko W., Yao Y. (eds.) *Rough Sets and Current Trends in Computing. RSTC 2000. Lecture Notes in Computer Science*, vol 2005. Springer, Berlin, Heidelberg.

GUMBEL, E. J. (1963): Statistical forecast of drought. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 8, s. 5-23.

HABETS, F., PHILIPPE, E., MARTIE, E., DAVID, C. H., LESEUR, F. (2014): Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change. In: ZHRÁDKOVÁ, S. a kol. (2015): *Hodnocení rizika vysychání drobných vodních toků v České republice*. Praha: VTEI, 6, s. 4-16.

HLADNÝ, J., KAKOS, V. (2006): Sucho In: NĚMEC, J., KOPP, J. (ed.) (2006): *Voda v České republice*. Ministerstvo zemědělství České republiky. Praha: Consult, 253 s.

HLADNÝ, J. (2009): Hydrologické extrémy a změny klimatu. In: NĚMEC, J., KOPP, J. (eds.) (2009): *Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu*. Ministerstvo zemědělství České republiky. Praha: Consult. s. 255.

HOLTANOVÁ, E., TOLASZ, R., PRETEL, J., METELKA, L. (2010): *Klimatická změna -příčiny a důsledky změn klimatu. Ochrana ovzduší*, 4, s. 16-17.

HUBALOVÁ, P., JANÍČEK T. a kol. (2019): Zprávy o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2018. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 137 s.

CHLUPÁČ, I., ŠTORCH, P. (1992): Regionální geologické členění Českého masivu na území České republiky. *Časopis České geologické společnosti při ČSAV*, č. 37. In: SANTNEROVÁ, L. (2019): *Návrh řešení revitalizace přeložky Loučenského potoka v patě výsypky Pokrok*. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta hornicko-geologická. Vedoucí práce doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc.

CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z. (2011): *Geologická minulost České republiky*. 2. vyd. Praha: Academia, 440 s.

IDMP (Integrated Drought Management Programme) (2016): *Handbook of Draught Indicators and Indices*. Geneva. Series 2, 52 s.

IONITA, M., DIMA, M., NAGAVCIUC, V., SCHOLZ, P., LOHMANN, S. (2021): Past megadroughts in central Europe were longer, more severe and less warm than modern droughts. *Communications Earth & Environment*. 61(2), 1-9.

JANSKÝ, B. (2019): Sucho ve světě a v Česku. *Geografické rozhledy*. 29(2), s. 4-7.

JEDLIČKOVÁ, Š. (2019): Vývoj odtoku vody ve vybraných povodích Kyrgyzského hřbetu, Ťan-Šan. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D. 136 s.

JONÁŠ, M. (2020): Hydromorfologický průzkum jako podklad pro návrh revitalizačních opatření vodních toků v intravilánech. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková, Ph.D. 127 s.

JUNKOVÁ, A. (2019): Hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D. 75 s.

KADERÁBEK, M. (2018): Srážko-odtokové vztahy v povodí Klabavy. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D. 109 s.

KAŇOK, J. (1997): Antropogenní ovlivnění velikosti průtoku řek povodí Odry po povodí Kožle. *Spisy prací přírodovědecké fakulty ostravské univerzity*. 103, 186 s.

- KAŠPÁREK, L. (2012): Možnosti zmírnění důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka. VÚV, 164 s. In: MAROUŠKOVÁ, K. (2016): Projevy a dopady hydrologického sucha v povodí Rakovnického potoka. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková. Ph.D. 118 s.
- KAJEWSKA-SZKUDLAREK, J., STAŃCZYK, J. (2018): Filling missing meteorological data with Computational Intelligence methods. In: ITM Web of Conferences, 23(1):00015.
- KEMEL, M. (2000): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Praha: Vydavatelství ČVUT, s. 65.
- KENDALL, M. G. (1948): Rank correlation methods. London: Griffin.
- KLADIVO, P. (2013): Základy statistiky. Univerzita Palackého v Olomouci. Přírodovědecká fakulta, s. 49.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005): Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy. *Geografie-Sborník ČGS*, 110(1), s. 32-45.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M., LEDVINKA, O., KRÁLOVEC, V. (2011): Hodnocení trendů v hydro-klimatických řadách na příkladu vybraných horských povodí. In: STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T.: Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Skalní mlýn, 2(4.2).
- KLÍMOVÁ, M. (2013): Ekologické průtoky v urbanizovaných tocích. Praha: Vydavatelství ČVUT. Sborník příspěvků STOKA 2013, 18 s.
- KÖPPEN, W., GEIGER, R. (1936): Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie*. 1. vyd. Berlín: Verlag von Gebrüder.
- KOTSIANTIS, S., KOSTOULAS, A., LYKODIS, S., ARGIRIOU, A., MENAGIAS, K. (2006): Filling missing temperature values in weather data banks. IET Conference Publications. 1, s. 327-334.
- KRAČMER, V., ŠVIHLA, V., ŠACHA, F., KANTOR, P., ČERNOHOUS, V. (2003): Lesy a povodně – souhrnná zpráva. *Archiv časopisu Lesnická práce*. 82(8), s. 14-17.
- KRÁLOVEC, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Opavy. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc. 148 s.
- KŘIVÁNEK, J., NĚMEC, J., KOPP, J., KYZLÍK, P. (2014): Drobné vodní toky v České republice. 1. vyd. Praha: Consult, 296 s.
- KUKLA, P., BOHÁČ, M., KOURKOVÁ, H., ŠERCL, P. (2019): Zhodnocení vývoje povrchových vod v roce 2018. In: *Sucho 2014-2018, sborník abstraktů*. Praha: ČHMÚ, s. 3-8.
- KYNCL, J. (2017): Letokruhy jako kalendář i záznamník – zajímavosti z dendrochronologie. Praha: Lesy ČR, 137 s.
- LAKE, P. S. (2003): Ecological effects of perturbation by drought in flowingwaters. *Freshwater Biology*, 48, s. 1161-1172.
- LAKE, P. S. (2008): Drought, the “creeping disaster”- Effects on aquatic ecosystems. Land & Water Australia, Canberra, s. 6-7.
- LANGHAMMER, J., SU, Y., BERNSTEINOVÁ, J. (2015): Runoff Response to Climate Warming and Forest Disturbance in a Mid-Mountain Basin. *Water*, 7, s. 3320-3342.
- LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková, Ph.D. 122 s.
- LEHMAN, R. M. a kol. (2015): Soil biology for resilient, healthy soil. *Journal of Soil and Water Conservation January*. 70(1), 12A-18A.

- LIBISELLER, C. (2004): MULTMK/PARTMK. A program for computation of multivariate and partial Mann-Kendall test. LIU. Linköping.
- LUKÁŠOVÁ, K. (2020): Hydrologické sucho v povodí horní Mže. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc. 73 s.
- LLOYD-HUDGES, B. (2014): The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, s. 607-611.
- MACKOVČIN, P. (1999): Chráněná území ČR. Ústecko. Svazek I. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha: ARTEDIT, 350 s.
- MALLAKPOUR, I., VILLARINI, G. (2015): A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean. *Hydrological Sciences Journal*, 61(2), s. 245-254.
- MAROUŠKOVÁ, K. (2016): Projevy a dopady hydrologického sucha v povodí Rakovnického potoka. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková. Ph.D. 118 s.
- MARTÍNEZ, M., D., SERRA, C., BURGUENO, A., X., LANA (2009): Time trends of Daily Maximum and Minimum Temperatures in Catalonia for the Period 1975-2004. In: CHANG, C., K., GHANI, A., A., PUAY, H., T., OTHMAN, M., A. (2017): Homogeneity testing and trends analysis in long term rainfall data for sungai pahang river basin over 40 years records. Proceedings of the 37th IAHR World Congress.
- MELICHAR, V., KRÁSA, P. (2009): Krušné hory – smutné pohoří. *Ochrana přírody*, 6, s. 2-7.
- MILHOUS, R. T., UPDIKE, M. A., D. M., SCHNEIDER (1989): Physical Habitat Simulation systém. Reference Manual Version II. Instream Flow Information Paper 26. In: MRKVIČKOVÁ, M., BALVÍN, P. (2013): Návrh postupu stanovení minimálního zůstatkového průtoku. Praha: VTEI, 55(3).
- MONDAL, A., KUNDU, S., MUKHOPADHYAY, A. (2012): Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: A case study of north-eastern part of cuttack district, Orissa. *International Journal of Geology*, 2(1), s. 70-78.
- MORAVEC, D., VOTÝPKA, J. (1998): *Klimatická regionalizace České republiky*. Praha: Karolinum.
- MRKVIČKOVÁ, M., BALVÍN, P. (2013): Návrh postupu stanovení minimálního zůstatkového průtoku. Praha: VTEI, 55(3).
- MUKHERJEE, S., MISHRA, A., TRENBERTH, K. E. (2018): Climate Change and Drought – a Perspective on Drought Indices. *Current Climate Change Reports*, 4, s. 145-163.
- MYUNG SU, Y., YOUNGYUN, C., TAE-WOONG, K., HYU-SOK, C. (2018): Analysis of drought propagation using hydrometeorological data: from meteorological drought to agricultural drought. *J. Korea Water Resour. Assos*, 51(3), s. 195-205.
- MŽP (Ministerstvo životního prostředí ČR) (2015): Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Praha: MŽP ČR, 130 s.
- NAČLOVÁ, J., TVRDÝ, L. (2003): Úvod do analýzy časových řad, Ostrava: Ekonomická fakulta, VŠB, 34 s.
- NAGY, P. (2020): Identifikácia suchých a mokrých období pomocou indexov sucha. Výzkum v rámci bilaterálního projektu APVV SK-PT 18-0008.
- NĚMEC, J., KOPP, J. (eds.) (2009): *Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu*. Ministerstvo zemědělství České republiky. Praha: Consult, 255 s.
- NĚMEČEK, J., ROHOŠKOVÁ, M., MACKŮ, J., VOKOUN, J., VAVŘÍČEK, D., NOVÁK, P. (2008): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 95 s.

- NETOPIĽ, R., BRÁZDIL, R., DEMEK, J., PROŠEK, P. (1984): Fyzická geografia 1. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 258 s.
- NOVICKÝ, O., KAŠPÁREK, L., HANSLÍK, E., VLAS, R., VIZINA, A., FIALA, T., BRZÁKOVÁ, J., LEDVINKA, O., KOURKOVÁ, H., FRIDRICHOVÁ, R. (2010): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. Závěrečná zpráva projektu SP/1a6/125/08, 171 s.
- OLESEN, J. E., TRNKA, M., KERSEBAUM, K. C., SKJELVAG, A. O., SEGUIN, B., PELTONEN-SAINIO, P., ROSSI, F., KOZYRA, J., MICALE, F. (2011): Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34, s. 96-112.
- ONÓZ, B., BAYAZIT, M., (2012): The Power of Statistical Tests for Trend Detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27, s. 247-251.
- PANAGOULIA, D. G., DIMOU, G. (1998): Definitions and Effects of Droughts. Greece: National Technical University of Athens. Division of Water Resources - Hydraulic and Maritime Engineering.
- PAVLŮ, L. (2018): Základy pedologie a ochrany půdy. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, skriptum, 76 s.
- PAŽOURKOVÁ, E. (2017): Stanovení minimálních zůstatkových průtoků. Praha: ČVUT. Fakulta stavební.
- PETTITT, A. N. (1979): A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, 28(2), s. 126-135.
- PINIEWSKI, M., MARCINKOWSKI, P., KUNDZEWICZ, Z. W. (2018): Trend detection in river flow indices in Poland. *Acta Geophys*, 66(3), s. 347-360.
- POFF, L. N., WARD, J. V. (1989): Implications of Streamflow Variability and Predictability for Lotic Community Structure: A Regional Analysis of Streamflow Patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(10), s. 1805-1818.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia geographica*. Brno: Geografický ústav ČSAV, s. 7-13.
- ROSSI, G. (2003): Requisites for a drought watch system. In: G. Rossi et al. (ed.) Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, s. 147–157.
- ROŽNOVSKÝ, J. (2014): *Sucho na území České republiky*. Praha: Academia. Akademie věd České republiky. Živa. 1, s. 2-3.
- RŮŽIČKOVÁ, M. (2006): Hydrografie a odtokový režim Chomutovky. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc. 63 s.
- SANTNEROVÁ, L. (2019): Návrh řešení revitalizace přeložky Loučenského potoka v patě výsypky Pokrok. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta hornícko-geologická. Vedoucí práce doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc.
- SATTARI, M. T., REZAZADEH-JOUDI, A., KUSIAK, A. (2017): Assessment of different methods for estimation of missing data in precipitation studies. *Hydrology Research*. 48(4), 1032–1044.
- SCHWARZOVÁ, Z. (2012): Určení hydraulických parametrů vybraného kolektoru pomocí hydrodynamických zkoušek. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D.
- SKÁLA, V. (2017): Hydrologické sucho v pramenných oblastech šumavských toků. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.
- SOUKALOVÁ, E., MUŽIKÁŘ, R. (2015): Hydrologické sucho v podzemních vodách. *VTEI*, 4-5, s. 34-41.

STAHL, K., VIDAL, J. P., HANNAFORD, J., TIJDEMAN, E. (2020): The challenges of hydrological drought definition, quantification and communication: an interdisciplinary perspective. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 383, s. 291-295.

SULAIMAN, N., H., KAMARUDIN, M., K., MUSTAFA, A., D., AMRAN, M., A., AZAMAN, F., ABIDIN, I., Z., HAIROMA, N. (2015): Trend analysis of pahang river using non-parametric analysis: Mann Kendall's trend test. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 19(6), s. 1327-1334.

SVOBODA, J., BENEŠ, K., DUDEK, A., HOLUBEC, J., CHALOUPSKÝ, J., KODYM, O., MALKOVSKÝ, M., ODEHNAL, L., POLÁK, A., POUBA, Z., SATTRAN, V., ŠKVOR, V., WEISS, J. (1964): Regionální geologie ČSSR, díl I. – Český masív, svazek I. – krystaliniku. Ústřední geologický ústav, Praha.

ŠACHOVÁ, B. (2010): Hydrologické sucho v kontextu klimatické změny ve světě a v českém povodí Labe. Praha. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

ŠACHOVÁ, B. (2013): Vliv klimatické změny na hydrologické sucho v povodí horní Otavy. Praha. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

ŠERCL, P. a kol. (2018): Zhodnocení vývoje hydrologické situace v období 2014-2017. In: Suché období 2014-2018. Vyhodnocení, dopady a opatření. Praha: ČHMÚ, s. 31-38.

ŠKVOR, V. (1975): Geologie české části Krušných hor a Smrčín. Praha: Academia, s. 7-10, 70.

ŠTĚPÁNEK, P. (2004): Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování. 1. vyd. Praha: ČHMÚ.

ŠTĚPÁNEK, P. (2005): Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření. Disertační práce, PŘF MUNI, Brno. Vedoucí práce prof. RNDr. Rudolf Brázdil, DrSc.

ŠTĚPÁNEK, P., TRNKA, M., MEITNER, J., DUBROVSKÝ, M., ZAHRADNÍČEK, P., LHOTKA, SKALÁK, P., KYSELÝ, J., FARDA, A., SEMERÁDOVÁ, D. (2019): Očekávání klimatické podmínky v České republice – část I. Změna základních parametrů. Brno: Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, 77 s.

ŠVIHLA, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí. *Lesnické práce*, 80(2), s. 16-18.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. J. (2004): Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Developments in Water Science* 48. Amsterdam: Elsevier Science BV.

Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. (2015): DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informations*, 8(3), s. 697–709.

TIJDEMAN, E., STAHL, K., TALLAKSEN, L. M. (2020): Drought Characteristics Derived Based on the Standardized Streamflow Index: A Large Sample Comparison for Parametric and Nonparametric Methods. *Water Resources Research*, 56, 25 s.

TESAŘ, M., ŠÍR, M., DVOŘÁK, I. J. (2004): Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: ŠTRUSA, J., MAZURSKI, K. R., PALUCKI, A., POTOCKA, J. (eds.): Geologické problémy Krkonoš. Mezinárodní Vědecká konference. Opera Conrcontica, 41, s. 30-37.

THORNTHWAITE, C. W. (1947): Climate and moisture conservation. *Annals of the Association of American Geographers*, 37(2), s. 87-100.

TIGKAS, D., VANGELIS, H., TSAKIRIS, G. (2015): DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8, s. 697-709.

TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T., VALERÍÁNOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2007): Atlas podnebí Česka. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 255 s.

TREML, P. (2011): Největší sucha na území České republiky v období let 1875-2010. *Meteorologické zprávy*, 64(6), s. 168-176.

- TRNKA, P. (2010): Možné důsledky déletrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. Brno: AF MENDELU, Ústav aplikované a krajinné ekologie.
- VAN LOON, A. F. (2015): Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2, s. 359-392.
- VAN LOON, A. F., VAN LANEN, H. (2012): A process-based typology of hydrological drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), s. 1915-1946.
- VAN LOON, A. F., STAHL, K., DI BALDASSARRE, G., CLARK, J., RANGE CROFT, S., WALDERS, N., GLEESON, T., VAN DIJK, A. I. J. M., TALLAKSEN, L. M., HANNAFORD, J., UIJLENHOET, R., TEULING, A. J., HANNAH D. M., SHEFFIELD, J., SVOBODA, M., VERBEIREN, B., WAGENER, T., VAN LANEN, H. A. J. (2016): Drought in a human-modified world: reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, s. 3631-3650.
- VÁNĚ, M. (1985): Geologická stavba podkrušnohorského prolomu a jeho tectogeneze. Sborník geologických věd, *Geologie*, 40, s. 70-71, 147, 157.
- VIZINA, A., HANEL, M., VLINAS, R. (2016): Regionalizace území ČR dle výskytu hydrologického sucha. Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2016, Úkolový list 31. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, s. 8-9.
- VIZINA, A., HANEL, M., TRNKA, M., DAŇHELKA, J., GREGORIEOVÁ, I., PAVLÍK, P., HEŘMANOVSKÝ, M. (2018): HAMR – online systém pro zvládání sucha – operativní řízení během suché epizody. Praha: VTEI, 5, s. 22-28.
- VLACH, V. (2019): Hydrologické sucho v pramenných oblastech Krušných hor. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.
- VLČEK, V. (ed.) (1984): Zeměpisný lexikon ČSR – Vodní toky a nádrže. Praha: Academia, 315 s.
- VLINAS, R., BERAN, A., HANEL, M., HRABÁNKOVÁ, A., HRDINKA, T., KAŠPÁREK, L., MARTÍNKOVÁ, M., PELÁKOVÁ, M., TREML, P., VIZINA, A., BAŠTA, P., JÁČKA, L., MÁČA, P., PAVLÁSEK, J., PECH, P. (2015): Návrh koncepce řešení krizové situace výskytu sucha a nedostatku vody v České republice. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 49 s.
- VOLKOVÁ, A. (2010): Změny ve srážko-odtokovém režimu v povodí Stropnice. Praha. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Karlova. Vedoucí práce RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D. 126 s.
- VOPRAVIL, J. (2010): *Půda a její hodnocení v ČR – díl I*. 2. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 148 s.
- VOPRAVIL, M., BATYSTA, J. (2016): Půdou proti suchu. *Vesmír – přírodovědecký časopis*, 95(10), s. 6-8.
- WASEEM, M., SHAHID, M., NOOR, M. K. (2020): Hydrological drought indexing approach in response to climate and anthropogenic activities. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, s. 1401-1413.
- WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, 10, s. 111-120.
- WILHITE, D. A., VANYARKHO, O. (2000): Drought – Pervasive Impacts of a Creeping Phenomenon. *Drought: A Global Assessment*, 1(18), s. 245-255.
- WILHITE, D. A. (2000): Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. University of Nebraska – Lincoln. s. 3-18.
- YANG, H., PIAO, S., HUNTINGFORD, C., CIAIS, P., LI, Y., WANG, T., PENG, S., YANG, Y., YANG, D., CHANG, J. (2018): Changing the retention properties of catchments and their influence on runoff under climate change. *Environmental Research Letters*, 13, s. 1-9.

YUE, S., WANG, C. (2004): The Mann-Kendall Test Modified by Effective Sample Size to Detect Trend in Serially Correlated Hydrological Series. *Water Resources Management*, 18, s. 201-218.

ZAHRÁDKOVÁ, S. a kol. (2015): Hodnocení rizika vysychání drobných vodních toků v České republice. Praha: VTEI, 6, s. 4-16.

ZINK, M., SAMANIEGO, L., KUMAR, R., THOBER, S., MAI, J., SCHÄFER, D., MARX, A. (2016): The German drought monitor. *Environmental Research Letters*. 11(7), 9 s.

ŽALUD, Z., TRNKA, M., HLAVINKA, P., DOBROVOLNÝ, P., KLEM, K., KUDLÁČKOVÁ, L., KUSÁ, H., MOŽNÝ, M., MÜHLBACHOVÁ, G., PAVLÍK, F., RŮŽEK, P., ŠTĚPÁNEK, P., VOPRAVIL, J., ZAHRADNÍČEK, P. (2020): Zemědělské sucho v České republice – vývoj, adaptace a dopady. Ministerstvo zemědělství České republiky. Praha: Agrární komora České republiky, 67 s.

ŽALUD, Z. a kol. (2021): *Výskyt a dopady sucha v roce 2020 v kontextu období 2015-2020*. Webinarž spravodajů Intersucha.

10.2 Internetové zdroje

ADDINSOFT, S. A. R. L. (2020): XLSTAT software, verze 2020.4. Addinsoft, Paris, France, [cit. 25. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.xlstat.com/en/>.

ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) (2021a): Archiv měsíčních zpráv 2021 – leden, únor, březen, duben, květen a červen [cit. 24. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>.

ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) (2021b): Mapy charakteristik klimatu, [cit. 26. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>.

EEA (European Environment Agency) (2019): Voda pro zemědělství, [cit. 27. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/articles/voda-pro-zemedelstvi>.

HAMR (2021): Hydrologické povrchové sucho, [cit. 29. 6. 2021]. Dostupné z: <https://hamr.chmi.cz/>.

IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2019): Issues brief – Natural solution to drought. Switzerland: Gland, [cit. 27. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/water-and-climate-change>.

LANGHAMMER, J. (2007): Hydrologické extrémy [online prezentace]. Praha: Karlova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, [cit. 6. 10. 2020]. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Hydrologie_2_Langhammer_extremy_hydro_grafie.pdf.

MZ ČR (Ministerstvo zemědělství České republiky) (2017): Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, [cit. 14. 10. 2020]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/koncepce-a-strategie/koncepce-na-ochranu-pred-nasledky-sucha.html>.

MŽP (Ministerstvo životního prostředí ČR) (2019): Poziční zpráva o pokroku při plnění Koncepce ochrany před následky sucha pro území ČR za rok 2019, [cit. 8. 4. 2021]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/novinky/pozicni-zprava-o-pokroku-pri-plneni.html>.

MŽP (Ministerstvo životního prostředí ČR) (2001): Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: MŽP [cit. 26. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/20F9C15060CAD3AEC1256AE30038D05C/%24file/Z%20254_2001.pdf.

MŽP (Ministerstvo životního prostředí ČR) (1998): Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích („Metodický pokyn“). In: MŽP [cit. 26. 1. 2021]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html).

NDMC (National Drought Mitigation Center) (2012): Types of Drought. U.S.A.: University of Nebraska–Lincoln, [cit. 13. 10. 2020]. Dostupné z: <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx>.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2018): Definition of Drought. U.S.A.: National Centers for Environmental Information, [cit. 13. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/dyk/drought-definition>.

ODOK (2018a): Důvodová zpráva k návrhu nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku. Úřad vlády České republiky [cit. 6. 5. 2018]. Dostupné z: <https://apps.odok.cz/veklep-detail?pid=KORNAUPEENSN>.

ODOK (2018b): Závěrečná zpráva z hodnocení dopadů a regulace. Úřad vlády České republiky [cit. 23. 5. 2021]. Dostupné z: <https://apps.odok.cz/veklep-detail?pid=KORNAUPEENSN>.

ODOK (2018c): Připomínkové řízení. Úřad vlády České republiky [cit. 23. 5. 2021]. Dostupné z: https://apps.odok.cz/veklep-detail?p_p_id=material_WAR_odokkpl&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=3&_material_WAR_odokkpl_pid=KORNAUPEENSN&tab=remarks

POH s.p. (Povodí Ohře s. p.) (2014): Plán dílčího povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe, [cit. 29. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.poh.cz/plan-dilciho-povodi-ohre-dolniho-labe-a-ostatnich-pritoku-labe/ds-1078>.

POH s.p. (Povodí Ohře s. p.) (2019): Vodní dílo Všechny, [cit. 11. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.poh.cz/vodni-dilo-vsechny/d-2594>.

POH s.p. (Povodí Ohře s. p.) (2020): Zákazy odběrů povrchových vod, informace od správce povodí, [cit. 24. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.poh.cz/zakazy-odberu-povrchovych-vod-informace-od-spravce-povodi/d-1011>

ŠTĚPÁNEK, P. (2003): AnClim – software for Windows, [cit. 25. 2. 2021]. Dostupné z: <http://www.climahom.eu/>.

ZAHRADNÍČEK, P. (2021): Téměř dva stupně pod normálem. Česko má za sebou nejchladnější jaro za 34 let, [cit. 28. 7. 2021]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/nejchladnejsi-jaro-za-vice-nez-30-let/r~71c9ab20ce7911eb8fa20cc47ab5f122/>.

10.3 Digitální a datové zdroje

ČGS (2020a): Geologická mapa 1 : 500 000. In: Geovědní mapy 1 : 500 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 28. 8. 2020]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr500/>.

ČGS (2020b): Půdní mapa 1 : 50 000. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 14. 9. 2020]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>.

ČÚZK (2020): Základní mapa 1 : 25 000. In: Geoprohlížeč [online]. Praha: Český úřad zeměměřičský a katastrální [cit. 3. 9. 2020]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>.

DIBAVOD (2020): Charakteristika toků a povodí ČR. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>.

Hydrologická data (datové vrstvy) - DIBAVOD

11 Seznam obrázků a tabulek

11.1 Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Koryto Loučenského potoka v blízkosti rybníka Leontýna.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2: Ortofotomapa s lokalizací všech využitých meteorologických stanic</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3: Přehledová mapa zájmového území</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 4: Geologická mapa zájmové oblasti</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 5: Pedologická mapa zájmové oblasti.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 6: Klimatigram srážek a teploty vzduchu z klimatické stanice Teplice z let 1961-2020.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7: Hydrografické poměry v zájmové oblasti.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 8: Rozvinutý podélný profil Bouřlivce</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 9: Sucho v jednotlivých částech hydrologického cyklu</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 10: Kategorizace území ČR podle míry rizika vysychání malých drobných toků</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 11: Mapa hydrologického povrchového sucha ve 44. týdnu roku 2015.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 12: Mapa hydrologického povrchového sucha ve 47. týdnu roku 2018.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 13: Rozdělení České republiky do čtyř kategorií podle parametru K_{99}</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 14: Roční úhrn srážek na stanici Všechny, Fláje, Janov a Libouchec v letech 1995-2020.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 15: Roční celkový úhrn srážek na stanici Všechny a Fláje v letech 1995-2020.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 16: Roční celkový úhrn srážek na stanici Janov a Libouchec v letech 2006-2020</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 17: Roční chod srážek na stanici Všechny, Fláje, Janov a Libouchec z dostupných dat.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 18: Měsíční rozložení srážek v % na stanici Všechny, Fláje, Janov a Libouchec</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 19: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Všechny v letech 1995-2020</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 20: Změny sezónního rozložení srážek na stanici Fláje v letech 1995-2020.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 21: Vývoj sezónních srážek na stanici Všechny (a) a Fláje (b) za období 1995-2020</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 22: Vývoj sezónních srážek na stanici Janov (a) a Libouchec (b) za období 2006-2020.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 23: Roční chod teploty vzduchu na stanici Všechny, Fláje, Janov a Libouchec.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 24: Dlouhodobé průměrné měsíční teploty vzduchu na stanicích Všechny, Fláje, Janov a Libouchec z dostupných dat.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 25: Hydrogram průměrných ročních průtoků na profilu Duchcov a Lahošť (2006-2020)</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 26: Dlouhodobé průměrné měsíční průtoky na profilu Lahošť a Duchcov (2006-2020).....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 27: Podíl měsíců na celkovém ročním odtoku - profil Lahošť a Duchcov (2006-2020).....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 28: Podíl ročních období na ročním objemu odtoku - profil Lahošť a Duchcov (2006-2020)</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 29: Podíl chladného a teplého půlroku na ročním odtoku - Duchcov za období 2006-2020.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 30: Podíl chladného a teplého půlroku na ročním odtoku - Lahošť za období 2006-2020.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 31: Průměrné měsíční průtoky na profilu Lahošť v letech 2015, 2018 a 2020</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 32: Průměrné měsíční průtoky na profilu Duchcov v letech 2015, 2018 a 2020</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 33: Denní průměrné průtoky na profilu Lahošť za období 2006-2020</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 34: Denní průměrné průtoky na profilu Duchcov za období 2006-2020</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 35: Chod průměrných denních průtoků na profilu Lahošť a Duchcov v roce 2020.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 36: Chod průměrných denních průtoků na profilu Lahošť a Duchcov v roce 2010.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 37: Hodnoty ročních minim na profilu Lahošť v pozorovaných letech 2006-2020</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 38: Hodnoty ročních minim na profilu Duchcov v pozorovaných letech 2006-2020</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 39: Histogram kumulativních četností pro profil Lahošť a Duchcov za období 2006-2020.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 40: Hodnoty bilančního přítoku do přehradní nádrže Všechny za období 1995-2020</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 41: Hodnoty průměrného ročního bilančního přítoku do přehradní nádrže Všechny</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 42: Průměrný roční odtok z úpravny vody v Meziboří za období 2006-2020</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 43: Průměrný denní průtok na profilu Duchcov a odtok z úpravny vody v Meziboří.....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 44: Počet suchých dní podle prahové hodnoty Q_{355d} na profilu Lahošť a Duchcov.....</i>	<i>93</i>

Obr. 45: Sezónní rozložení suchých dní podle prahové hodnoty Q_{355d} na profilu Lahošť a Duchcov.....	94
Obr. 46: Nedostatkové objemy na profilu Lahošť v pozorovaném období 2006-2020	97
Obr. 47: Nedostatkové objemy na profilu Duchcov v pozorovaném období 2006-2020	97
Obr. 48: Standardizované nedostatkové objemy na profilu Lahošť a Duchcov (2006-2020).....	98
Obr. 49: Průměrný měsíční průtok ve vybraných letech 2018, 2019 a 2020 v porovnání s průměrným měsíčním průtokem (2018-2020) a MZP pro jarní a hlavní sezonu na profilu Lahošť	101
Obr. 50: Průměrný měsíční průtok ve vybraných letech 2018, 2019 a 2020 v porovnání s průměrným měsíčním průtokem (2018-2020) a MZP pro jarní a hlavní sezonu na profilu Duchcov	102
Obr. 51: Kumulativní řada denních přítoků do VD Všechlapy v rámci hydro. let 1995-2020.....	104
Obr. 52: Kumulativní řady ročních srážek za stanice Všechlapy a přítoku do VD Všechlapy	105
Obr. 53: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m pro stanici Fláje	108
Obr. 54: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m pro stanici Janov	110
Obr. 55: Jednoduchá součtová čára pro vybrané H_m pro stanici Libouchec.....	110
Obr. 56: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Všechlapy.....	112
Obr. 57: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Fláje	114
Obr. 58: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Janov	116
Obr. 59: Jednoduchá součtová čára pro vybrané T_m pro stanici Libouchec	116

11.2 Seznam tabulek

Tab. 1: Měřicí stanice využité v této práci.....	12
Tab. 2: Klimatické charakteristiky zájmové oblasti	31
Tab. 3: Hydrologické a hydrografické charakteristiky povodí Loučenského potoka	35
Tab. 4: Charakteristiky přítoků Loučenského potoka	35
Tab. 5: Vybrané charakteristiky vodního díla Všechlapy.....	37
Tab. 6: Hydrologické a hydrografické charakteristiky povodí Bouřlivce	37
Tab. 7: Vybrané charakteristiky klimatu na území České republiky v letech 2014-2020	60
Tab. 8: Vybrané charakteristiky klimatu severozápadních Čech v letech 2014-2020	60
Tab. 9: Stanovení směrných hodnot MZP dle metodického pokynu z roku 1998.....	62
Tab. 10: Stanovení hodnot MZP ple plánované novely nařízení vlády.....	66
Tab. 11: Douhodobý průměrný roční úhrn srážek na stanici Fláje a Všechlapy (1995-2020) a na stanici Janov a Libouchec (2006-2020)	69
Tab. 12: Maximální denní úhrny srážek na stanici Všechlapy a Fláje (1995-2020) a stanici Janov a Libouchec (2006-2020).....	74
Tab. 13: Hodnoty průměrných ročních průtoků a dlouhodobých průtoků na profilu Lahošť a Duchcov za hydrologické období 2006-2020	77
Tab. 14: Pravděpodobnost překročení průměrných ročních průtoků na profilu Lahošť a Duchcov v letech 2006-2020.....	78
Tab. 15: Extrémní hodnoty průměrných denních průtoků v letech 2006-2020.....	87
Tab. 16: Hodnoty M-denních průtoků pro profil Lahošť (Bouřlivec) za období 2006-2020.....	88
Tab. 17: Hodnoty M-denních průtoků pro profil Duchcov (Loučenský p.) ze období 2006-2020	88
Tab. 18: Přehled charakteristik hydrologického sucha pro profil Lahošť za období 2006-2020.....	98
Tab. 19: Přehled charakteristik hydrologického sucha pro profil Duchcov za období 2006-2020	99
Tab. 20: Pražové hodnoty průtoků (Lahošť, Duchcov) za normálové období 1981-2010.....	99
Tab. 21: Pražové hodnoty průtoků (Lahošť, Duchcov) za období 2014-2020.....	103
Tab. 22: Výsledky Pettitt testu a Buishand testu absolutní homogenity dat přítoku - Všechlapy	106
Tab. 23: Výsledky Pettitt testu a Buishand testu absolutní homogenity dat srážek - Všechlapy.....	107
Tab. 24: Výsledky Pettitt testu a Buishand testu absolutní homogenity dat srážek – Fláje.....	108
Tab. 25: Výsledky Pettitt testu a Buishand testu absolutní homogenity dat srážek - Janov.....	109

<i>Tab. 26: Výsledky Pettitt testu a Buishand testu absolutné homogenity dat srážek - Libouchec.....</i>	<i>111</i>
<i>Tab. 27: Úroveň spolehlivosti SNHT testu s 5 % hladinou významnosti.....</i>	<i>112</i>
<i>Tab. 28: Výsledky SNHT a Pettitt testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Všechlapy.....</i>	<i>113</i>
<i>Tab. 29: Výsledky SNHT a Pettitt testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Fláje</i>	<i>114</i>
<i>Tab. 30: Výsledky SNHT a Pettitt testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Janov.....</i>	<i>115</i>
<i>Tab. 31: Výsledky SNHT a Pettitt testu absolutní homogenity dat teploty vzduchu - Libouchec.....</i>	<i>117</i>
<i>Tab. 32: Detekce trendu v datové řadě přítoku do vodního díla Všechlapy.....</i>	<i>118</i>
<i>Tab. 33: Detekce trendu v datové řadě srážek ze stanice Všechlapy.....</i>	<i>119</i>
<i>Tab. 34: Detekce trendu v datové řadě srážek ze stanice Fláje, Janov a Libouchec.....</i>	<i>120</i>
<i>Tab. 35: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu ze stanice Všechlapy</i>	<i>121</i>
<i>Tab. 36: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu ze stanice Fláje</i>	<i>122</i>
<i>Tab. 37: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu ze stanice Janov a Libouchec.....</i>	<i>123</i>
<i>Tab. 38: Detekce trendu v datové řadě teploty vzduchu ze stanice Teplice (1962-2020)</i>	<i>128</i>
<i>Tab. 39: Detekce trendu v datové řadě srážek ze stanice Teplice (1962-2020).....</i>	<i>129</i>

časová řada	n	testovací statistika tau	p hodnota	trend
listopad	15	-0,143	0,488	—
prosinec	15	-0,057	0,804	—
leden	15	0,048	0,843	—
únor	15	0,276	0,166	—
březen	15	-0,257	0,198	—
duben	15	-0,505	0,010	↓
květen	15	-0,295	0,138	—
červen	15	-0,219	0,027	↓
červenec	15	-0,143	0,488	—
srpen	15	-0,448	0,023	↓
září	15	-0,543	0,006	↓
říjen	15	-0,352	0,075	—
rok	15	-0,448	0,023	↓
chladný půlrok	15	-0,029	0,921	—
teplý půlrok	15	-0,505	0,010	↓
jaro	15	-0,390	0,048	↓
léto	15	-0,314	0,113	—
podzim	15	-0,314	0,113	—
zima	15	0,105	0,621	—

Detekce trendu v datové řadě průtoku na stanici Duchcov (2006-2020)
(Zdroj: vlastní zpracování dat POH)

časová řada	n	testovací statistika tau	P hodnota	trend
listopad	15	-0,390	0,048	↓
prosinec	15	-0,038	0,882	—
leden	15	0,010	1,000	—
únor	15	0,200	0,322	—
březen	15	-0,143	0,488	—
duben	15	-0,371	0,060	—
květen	15	-0,448	0,023	↓
červen	15	-0,181	0,373	—
červenec	15	-0,448	0,023	↓
srpen	15	-0,448	0,023	↓
září	15	-0,467	0,018	↓
říjen	15	-0,391	0,048	↓
rok	15	-0,448	0,023	↓
chladný půlrok	15	-0,295	0,138	—
teplý půlrok	15	-0,448	0,023	↓
jaro	15	-0,429	0,029	↓
léto	15	-0,390	0,048	↓
podzim	15	-0,562	0,004	↓
zima	15	0,010	1,000	—